



TUGAS AKHIR - SS141501

**PENGENDALIAN KUALITAS PUPUK NPK DI PT PUPUK  
SRIWIDJAJA (PUSRI) PALEMBANG MENGGUNAKAN  
PETA KENDALI *MAXIMUM MULTIVARIATE  
CUMULATIVE SUM (MAX-MCUSUM)***

SITI AISYAH  
NRP 0621 144 000 0059

Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Mashuri, MT

PROGRAM STUDI SARJANA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018



**TUGAS AKHIR - SS141501**

**PENGENDALIAN KUALITAS PUPUK NPK DI PT PUPUK  
SRIWIDJAJA (PUSRI) PALEMBANG MENGGUNAKAN  
PETA KENDALI *MAXIMUM MULTIVARIATE  
CUMULATIVE SUM* (MAX-MCUSUM)**

**SITI AISYAH  
NRP 0621 144 000 0059**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Muhammad Mashuri, MT**

**PROGRAM STUDI SARJANA  
DEPARTEMEN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**FINAL PROJECT - SS141501**

**QUALITY COTROL OF NPK FERTILIZER AT PT PUPUK  
SRIWIDJAJA (PUSRI) PALEMBANG USING MAXIMUM  
MULTIVARIATE CUMULATIVE SUM (MAX-MCUSUM)  
CONTROL CHART**

**SITI AISYAH  
SN 0621 144 000 0059**

**Supervisor  
Dr.Muhammad Mashuri, MT**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME  
DEPARTMENT OF STATISTICS  
FACULTY OF MATHEMATICS, COMPUTING, AND DATA SCIENCE  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGENDALIAN KUALITAS PUPUK NPK DI PT PUPUK SRIWIDJAJA (PUSRI) PALEMBANG MENGGUNAKAN PETA KENDALI *MAXIMUM MULTIVARIATE CUMULATIVE SUM (MAX-MCUSUM)*

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada

Program Studi Sarjana Departemen Statistika  
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Siti Aisyah**

NRP. 0621 144 000 0059

Disetujui Oleh Pembimbing:

**Dr. Muhammad Mashuri, MT**

NIP. 19620408 198701 1 001

(*Mashuri*)



Mengetahui,  
Kepala Departemen

**Dr. Suhartono**

NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **PENGENDALIAN KUALITAS PUPUK NPK DI PT PUPUK SRIWIDJAJA (PUSRI) PALEMBANG MENGGUNAKAN PETA KENDALI *MAXIMUM MULTIVARITE CUMULATIVE SUM* (MAX-MCUSUM)**

**Nama Mahasiswa** : Siti Aisyah  
**NRP** : 0621 144 000 0059  
**Departemen** : Statistika  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Muhmmad Mashuri, MT

## **Abstrak**

*Pupuk NPK merupakan produk pupuk yang baru diproduksi oleh PT Pupuk Sriwidjaja yang sangat mengutamakan kualitas agar pupuk NPK PT PUSRI dapat bersaing, sehingga tidak terjadi kerugian secara finansial bagi produsen dan secara penggunaan bagi konsumen. Dalam penelitian ini, akan dilakukan pengendalian kualitas secara statistik pada pupuk NPK melalui peta kendali. Penelitian akan dilakukan pada 3 variabel utama dan terpenting dalam komposisi pupuk NPK, yaitu nitrogen (N), phospat (P) dan kalium (K), dimana variabel penelitian memiliki hubungan satu sama lain dan memiliki pergeseran proses yang kecil. Maka digunakan peta kendali Max-MCUSUM yang lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses yang kecil, serta efektif karena memonitor rata-rata dan variabilitas secara simultan dalam satu peta kendali. Setelah dilakukan simulasi, didapatkan batas interval (h) sebesar 29.89. Hasil dari penelitian menggunakan peta kendali Max-MCUSUM pada proses produksi pupuk NPK fase I adalah telah terkendali secara statistik setelah dilakukan identifikasi terhadap penyebab titik yang keluar batas interval dan dilakukan perbaikan. Sedangkan pada fase II, proses produksi pupuk NPK belum terkendali secara statistik Hal ini dikarenakan masih terdapat titik pengamatan yang berada di atas batas interval (h) yang disimbolkan dengan C+. Kemudian, pada perhitungan kapabilitas proses, dapat diketahui bahwa secara multivariat, nilai indeks kapabilitas kinerja proses baik MPp maupun MPpk kurang dari 1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses produksi pupuk NPK pada PT PUSRI belum kapabel karena memiliki tingkat presisi dan akurasi yang rendah*

**Kata Kunci:** *Analisis Kapalitas, Pengendalian Kualitas Statistika, Peta Kendali Max-MCUSUM, Pupuk NPK, PT Pupuk Sriwidjaja Palembang*



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# QUALITY CONTROL OF NPK FERTILIZER AT PT PUPUK SRIWIDJAJA (PUSRI) PALEMBANG USING MAXIMUM MULTICARIATE CUMULATIVE SUM (MAX-MCUSUM) CONTROL CHART

**Name** : Siti Aisyah  
**Student Number** : 0621 144 000 0059  
**Department** : Statistics  
**Supervisor** : Dr. Muhammad Mashuri,MT

## Abstract

*NPK fertilizer is a new fertilizer product by PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI). The quality of NPK fertilizer is a priority to the company, so that NPK fertilizer of PT PUSRI can compete with other fertilizers. It is important so there will be no loss both for producer and consument of NPK fertilizer. In this research, statistical quality control will be performed on NPK fertilizer through control chart. The research will be conducted on three main and most important variables in the composition of NPK fertilizer, those are nitrogen (N), phospat (P), and postassium (K). Those variables are related to each other and have small process shifts, that is why Max-MCUSUM control chart use in this research. It's because Max-MCUSUM control chart is more sensitive in detecting small process shifts and more effective because it monitors mean and variability simultaneously in a single control chart. After the simulation, the result of decision interval (h) in this research is 29.89. Meanwhile, the result of the research using Max-MCUSUM control chart phase I of NPK fertilizer production process was statistically controlled after identification of the cause in out of control observation and performed the improvement by deleting the out of control observation. While in phase II, NPK fertilizer production process has not been statistically controlled. This is because there is still an observation which is above the decision interval (h) symbolized by  $C_+$ . Then, on the calculation of process capability, it can be know that the process capability, both in Mpp and MPpk is less than 1. So it can be concluded that the perfomance in production process of NPK fertilizer at PT PUSRI is not yet capable because it has a low level of precision and accuracy.*

**Keywords:** *Capability Analysis, Max-MCUSUM Control Chart, NPK Fertilizer, PT Pupuk Sriwidjaja, Statistical Quality Control*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayahNya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengendalian Kualitas Pupuk NPK di PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) Palembang Menggunakan Peta Kendali *Maximum Multivariate Cumulative SUM* (MAX-MCUSUM)”** dengan baik. Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak, ibu, kakak-kakak, dan seluruh keluarga penulis atas segala doa, kasih sayang, nasihat, dan dukungan yang diberikan kepada penulis.
2. Bapak Dr. Suhartono selaku Kepala Departemen Statistika yang telah memberikan banyak fasilitas untuk kelancaran penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan nasihat, kritik, saran dan waktu yang kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Diaz Fitri Aksioma S.Si., M.Si. dan Bapak Novri Suhermi, S.Si., M.Sc. selaku dosen penguji atas saran dan kritiknya yang sangat membangun.
5. Bapak Hakkon, Bapak Tio dan Bapak Febru selaku pembimbing lapangan di PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) Palembang yang telah memberikan nasihat, kritik, saran dan waktu yang kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian pada Tugas Akhir ini.
6. Bapak Imam Safawi Ahmad S.Si., M.Si selaku dosen wali atas nasihat dan saran yang telah diberikan.
7. Teman-teman terdekak R.M Irfan Fatahillah, Sandra Firda, Kiki Noor Aisyah, Nadia Insyira, Nikita Dwie Septiana, Karenina Padaga, Izzan Rasyadi, Rizky Mubarak, Vienesca Laurencia yang telah mendukung dan memberikan kritik dan saran kepada penulis dalam banyak hal.
8. Teman-teman yang membantu mengedukasi penulis Ria Retna, Endah Setyowati, Dedi Setiawan, Alifian Nuriman, Fatchi Rihadatul, Retno Puspitaningrum, Nanda Prasetya, Khususna dan Aldho Rizki

9. Teman-teman Departemen Hubungan Luar (HUBLU) HIMASTA-ITS 2016/2017 dan kabinet HIMASTA-ITS 2016/2017 yang telah membantu pengembangan *softskills* penulis, serta teman-teman seperjuangan Respect 2014  $\Sigma 25$ .

10. Semua pihak yang mendukung dalam penyelesaian Tugas Akhir

Besar harapan penulis untuk mendapatkan kritik dan saran yang membangun sehingga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang terkait.

Surabaya, Juli 2018

**Penulis**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Manfaat Penelitian .....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Uji Korelasi .....	7
2.2 Uji Distribusi Normal Multivariat.....	7
2.3 Peta Kendali .....	9
2.3.1 <i>Maximum Multivariate Cumulative Sum</i> (Max-MCUSUM) Untuk Rata-Rata .....	10
2.3.2 <i>Maximum Multivariate Cumulative Sum</i> (Max-MCUSUM) Untuk Variansi .....	12
2.4 Kapabilitas Proses .....	15
2.5 Profil PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) .....	18
2.6 Proses Produksi Pupuk .....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	25
3.1 Sumber Data.....	25
3.2 Variabel Penelitian .....	25
3.3 Struktur Data .....	27
3.4 Langkah Analisis.....	27
3.5 Diagram Alir .....	29
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b> .....	32
4.1 Karakteristik Kualitas Pupuk NPK .....	33

4.2	Pemeriksaan Dependensi antar Variabel.....	36
4.3	Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat.....	36
4.4	Peta Kendali <i>Maximum Multivariate Cumulative</i> <i>Sum</i> (Max-MCUSUM).....	37
4.4.1	Penentuan interval keputusan ( $h$ ) .....	38
4.4.2	Pengendalian Kualitas Pupuk NPK Fase I .....	38
4.4.3	Pengendalian Kualitas Pupuk NPK Fase II .....	45
4.5	Identifikasi Penyebab Proses Tidak Terkendali .....	46
4.6	Analisis Kapabilitas Proses Kualitas Pupuk NPK.....	49
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	51
5.1	Kesimpulan .....	51
5.2	Saran.....	51
	DAFTAR PUSTAKA.....	53
	LAMPIRAN .....	55
	BIODATA PENULIS.....	73

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Diagram Alir Proses Pembuatan Pupuk NPK .....	23
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	30
<b>Gambar 4.1</b>	QQ Plot Uji Normalitas.....	36
<b>Gambar 4.2</b>	Peta Kendali Max-MCUSUM Fase 1 .....	43
<b>Gambar 4.3</b>	Peta Kendali Max-MCUSUM Fase 1 (1).....	44
<b>Gambar 4.4</b>	Peta Kendali Max-MCUSUM Fase 1 ( <i>Final</i> ) .....	45
<b>Gambar 4.5</b>	Peta Kendali Max-MCUSUM Fase II.....	46
<b>Gambar 4.6</b>	Diagram Ishikawa Proses Poduksi Pupuk NPK.....	47



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Variabel Penelitian.....	27
<b>Tabel 3.2</b> Struktur Data.....	27
<b>Tabel 4.1</b> Deskripsi karakteristik kualitas pupuk NPK Fase I.....	34
<b>Tabel 4.2</b> Deskripsi karakteristik kualitas pupuk NPK Fase II.....	35
<b>Tabel 4.3</b> Hasil ARL menggunakan simulasi .....	38

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b>	Data Karakteristik Kualitas Pupuk NPK .....	55
<b>Lampiran 2</b>	Pemeriksaan Asumsi Normal Multivariat .....	56
<b>Lampiran 3</b>	Pengujian Dependensi antar Variabel .....	57
<b>Lampiran 4</b>	Tabel Nilai $h$ .....	57
<b>Lampiran 5</b>	Diagram Kendali Max-MCUSUM Fase 1.....	57
<b>Lampiran 6</b>	Diagram Kendali Max-MCUSUM Fase 2.....	62
<b>Lampiran 7</b>	Kapabilitas Proses Nitrogen .....	62
<b>Lampiran 8</b>	Kapabilitas Proses Phospat.....	63
<b>Lampiran 9</b>	Kapabilitas Proses Kalium .....	63
<b>Lampiran 10</b>	Contoh Nilai $C_i$ untuk data fase 1 iterasi 1 .....	64
<b>Lampiran 11</b>	Contoh nilai $S_i$ untuk data fase 1 iterasi 1 .....	66
<b>Lampiran 12</b>	Contoh nilai $M_i$ untuk data fase 1 iterasi 1.....	68
<b>Lampiran 13</b>	Surat Keterangan Penelitian di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang .....	70
<b>Lampiran 14</b>	Surat Keterangan Penelitian di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang (Lanjutan) .....	71
<b>Lampiran 15</b>	Surat Keterangan Validasi Data dan Publikasi .....	72

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pentingnya pengaruh sektor pertanian bagi pertumbuhan ekonomi Indonesia membuat peningkatan produktivitas dalam sektor pertanian penting untuk dilakukan agar meningkatkan produksi pertanian semaksimal mungkin. Salah satu caranya yaitu dengan penggunaan pupuk kimia untuk meningkatkan produktivitas tanah agar terdapat perbaikan lahan dan pengelolaan bahan organik pada tanah. Pupuk adalah suatu bahan yang digunakan untuk mengubah sifat fisik, kimia atau biologi tanah sehingga menjadi lebih baik bagi pertumbuhan tanaman, seperti meningkatkan pH tanah yang asam dan pemberian pembenah tanah untuk memperbaiki sifat fisik tanah. Usaha tersebut dinamakan pemupukan (Rosmarkam & Yuwono, 2002). Pentingnya pupuk sudah umum diketahui mengingat akselerasi produksi pertanian tentunya harus ditopang industri pupuk yang bagus. Dalam industri pupuk, perusahaan yang merupakan salah satu produsen pupuk terbesar di Indonesia adalah PT Pupuk Sriwidjaja (PERSERO) atau biasanya dikenal dengan PT PUSRI.

PT PUSRI merupakan perusahaan pupuk di Palembang, Sumatera Selatan dan merupakan pelopor produsen pupuk khususnya pupuk urea, terbesar di Indonesia yang berdiri sejak tahun 1959. Pada tahun 1997, Peraturan Pemerintah (PP) nomor 28 tanggal 7 Agustus 1997 menunjuk PT PUSRI sebagai induk perusahaan yang membawahi 6 perusahaan pupuk lainnya, yaitu PT Petrokimia Gresik, PT Pupuk Kujang Cikampek, PT Pupuk Kaltim, PT pupuk Iskandar Muda, PT Rekayasa Industri dan PT Mega Eltra. Mulai tahun 2010, status PT PUSRI berubah menjadi *strategic and investment holding*. Selanjutnya pada tahun 2012 menteri BUMN Dahlan Iskan meresmikan PT Pupuk Indonesia Holding Company (PIHC) sebagai nama induk perusahaan pupuk yang baru, menggantikan nama PT PUSRI. PUSRI saat ini tercatat sebagai pabrik pupuk tertua di Indonesia dengan 2 produk utamanya yaitu Pupuk Urea dan Ammonia.

Namun, dewasa ini penggunaan pupuk urea semakin berkurang, seiring dengan meningkatnya permintaan pupuk majemuk, khususnya

yang mengandung unsur nitrogen fosfor dan kalium, atau biasanya disebut dengan pupuk NPK. Hal ini membuat industri pupuk di Indonesia kedepannya tidak akan berkonsentrasi di pupuk urea lagi, namun di pupuk NPK. Pupuk NPK merupakan salah satu jenis pupuk majemuk yang kandungan unsur utamanya terdiri dari tiga unsur hara tersebut. Pupuk ini merupakan unsur makro yang sangat mutlak dibutuhkan tanaman. Pupuk Indonesia menargetkan produksi pupuk NPK di Indonesia untuk tembus 6 juta ton hingga 2022 mendatang, lebih tinggi dibandingkan produksi pupuk urea. Produksi NPK mulai menjadi prioritas di industri pupuk dikarenakan dapat lebih bermanfaat untuk peningkatan ketahanan pangan, karena didalam komposisinya yang dinilai lebih lengkap dibandingkan pupuk urea.

Sebagai langkah untuk peningkatan produk pupuk NPK di Indonesia, khususnya di PT PUSRI, pada awal tahun 2013 lalu dilakukan pembangunan pabrik pupuk NPK Fusion pada PT PUSRI yang kemudian mulai beroperasi sejak Februari 2016 dengan kapasitas sebesar 100.000 ton per tahun. Dalam *press release* yang ditulis pada *webpage* PT PUSRI, PT PUSRI menyatakan bahwa pihak perusahaan sedang berkonsentrasi untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas dari produk barunya ini yaitu pupuk NPK. Pembangunan pabrik NPK Fusion II dilakukan sebagai bentuk nyata untuk meningkatkan kuantitas pupuk NPK (PT PUSRI, 2017). Sedangkan sebagai bentuk nyata dalam menjaga dan meningkatkan kualitas pupuk NPK, PT PUSRI melakukan pengujian kualitas secara rutin sebagai bentuk pengendalian kualitasnya. *Quality control* atau pengendalian kualitas pupuk NPK di PT PUSRI dilakukan melalui uji lab sesuai dengan Standar Nasional Indonesia 0428. Dalam melakukan pengukuran kualitas, PT PUSRI memiliki batas spesifikasi tersendiri, hal ini juga diatur dalam Standar Nasional Indonesia untuk pupuk NPK padat (SNI 2803:2010).

Ketika hasil pengukuran kualitas dari variabel yang diukur di pupuk NPK keluar dari batas spesifikasi yang telah ditentukan oleh PT PUSRI. Proses pembuatan pupuk NPK akan diberhentikan sementara dan dilakukan pengulangan produksi. Hal ini dilakukan untuk mengatur ulang *formula* pada bagian tertentu mesin/bahan baku. Tergantung dari hasil pengukuran pada variabel yang keluar batas spesifikasi.

Banyaknya hasil pengukuran pada variabel yang keluar batas spesifikasi ini membuat adanya pengulangan dilakukan terus menerus, sehingga membuat jumlah produksi pupuk NPK di PT PUSRI belum mencapai target yang telah ditentukan sejak tahun 2016.

Pengendalian terhadap produk yang keluar dari batas spesifikasi sangat diperlukan mengingat hal tersebut merupakan salah satu cara untuk menjaga dan meningkatkan kualitas dari pupuk NPK. Ketika pengukuran menunjukkan hasil variabel yang terlalu tinggi dari batas spesifikasi tetapi tidak dilakukan pengendalian, maka akan terjadi kerugian berupa bahan baku yang habis sebelum waktunya, sehingga akan terjadi pemborosan bahan baku dan biaya. Pengendalian kualitas juga penting dilakukan untuk kepentingan konsumen yang menggunakan pupuk NPK, karena pada penggunaannya, unsur-unsur hara seperti N, P atau K tidak boleh terlalu rendah ataupun terlalu tinggi. Maka dari itu kualitas pupuk NPK yang diproduksi sangat diutamakan. Pentingnya penjagaan dan peningkatan mutu dari produk PT PUSRI dilakukan sesuai dengan misi perusahaan yaitu untuk memproduksi pupuk secara efisien, berkualitas prima dan memuaskan pelanggan, hal ini juga dilakukan agar produk perusahaan, khususnya pupuk NPK PT PUSRI dapat bersaing dengan produk pupuk NPK lainnya.

Pengendalian kualitas statistik merupakan alat statistika yang mampu mengontrol dan memonitor suatu produk atau proses produksi. Untuk mencapai tujuan tersebut, salah satunya dengan menggunakan peta kendali. Peta kendali adalah suatu alat yang secara grafis digunakan untuk memonitor dan mengevaluasi apakah suatu aktivitas/proses berada dalam pengendalian kualitas secara statistika atau tidak sehingga dapat memecahkan masalah dan menghasilkan perbaikan kualitas (Heizer & Render, 2008). Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, selama ini produk pupuk NPK di PT PUSRI belum dilakukan pengendalian kualitas secara statistik. Sebagai bentuk informasi dan rekomendasi pada PT PUSRI yang sedang berkonsentrasi pada kuantitas dan kualitas produk barunya, maka dari itu akan dilakukan pengendalian kualitas secara statistik pada pupuk NPK agar kedepannya terdapat peningkatan dari kualitas pupuk NPK.



Penelitian mengenai pengendalian kualitas statistik menggunakan peta kendali telah banyak dilakukan sebelumnya, salah satunya yaitu penelitian oleh Reza Septian (2013) pada pupuk urea pabrik 3 PT PUSRI menggunakan peta kendali  $X-MR$  yang menunjukkan bahwa proses produksi pupuk urea belum terkendali secara statistik sedangkan analisis kapabilitas menunjukkan proses produksi pupuk urea dikatakan baik karena nilai  $C_p > 1$  dan  $C_{pk} > 1$  pula sehingga produk dikatakan telah mampu memenuhi spesifikasi. Kemudian, Sheli Afifah (2017) juga pernah melakukan penelitian mengenai analisis kapabilitas proses *recovery unit* pada pupuk urea di PT Petrokimia Gresik. Hasil analisis memberikan kesimpulan bahwa jam kerja (*shift*) tidak memberikan pengaruh terhadap konsentrasi amonia dan karbon dioksida. Pengendalian kualitas pada proses *recovery unit* pupuk urea pada fase 1 dan fase 2 telah terkendali secara statistik. Sedangkan proses produksi pupuk urea fase 1 dan fase 2 tidak kapabel karena pada variabel amonia mempunyai akurasi yang rendah. Selain itu, Annisa (2017) juga pernah melakukan pengendalian kualitas pada produk herbisida sidafos 480SL di Petrosida Gresik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baik diagram kendali MEWMV dan MEWMA belum terkendali secara statistik. Analisis kapabilitas proses herbisida sidafos 480 SL secara multivariat juga menunjukkan bahwa proses tidak kapabel karena nilai  $MPpk$  kurang dari 1.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan pengendalian kualitas secara statistik pada pupuk NPK melalui peta kendali pula. Dari 7 variabel pengukuran yang diuji secara rutin, akan digunakan 3 variabel dalam komposisi pupuk NPK, yaitu Nitrogen (N) Phospat (P) dan Kalium (K). Ketiga variabel ini merupakan variabel utama dan terpenting dalam komposisi pupuk NPK, dengan proporsi 15% pada masing-masing variabel. Sesuai dengan merk dagang pupuk NPK PT PUSRI, yaitu pupuk NPK 15-15-15. Dalam proses pembuatannya, pada bahan baku Nitrogen (N) terdapat kandungan Phospat (P) atau dalam kata lain setiap bahan baku mengandung unsur N,P,K yang memiliki hubungan satu sama lain, sehingga ketika *setting formula* pada pabrik dilakukan, misalnya kandungan Phospat (P) dinaikkan maka Nitrogen (N) harus diturunkan. Karena antar variabel penelitian memiliki

hubungan, maka dari itu digunakan peta kendali multivariat yaitu peta kendali yang lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses secara multivariat. Berdasarkan data dari perusahaan, Nitrogen Phospat dan Kalium mengalami pergeseran proses yang relatif kecil yaitu  $0,92\sigma$ ,  $0,11\sigma$  dan  $0,18\sigma$  sehingga digunakan peta kendali Max-MCUSUM yang lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses kecil.

Peta kendali Max-MCUSUM merupakan perkembangan dari peta kendali CUSUM dan MCUSUM, dimana dalam penggunaannya peta kendali Max-MCUSUM lebih efektif dikarenakan secara simultan memonitor rata-rata dan varians secara simultan dalam 1 diagram (Cheng & Thaga, 2005). Selain itu, pada peta kendali sebelumnya, pergeseran variansi bisa mempengaruhi batas kontrol diagram rata-rata. Pada kondisi ini diagram simultan lebih cocok digunakan. Maka dari itu dipilih peta kendali Max-MCUSUM. Penggunaan peta kendali multivariat ini dapat mendeteksi pergeseran proses yang disebabkan oleh penyebab-penyebab khusus sedini mungkin, sehingga dapat segera dilakukan tindakan perbaikan. Sehingga nantinya diharapkan dapat membuat proses produksi pupuk NPK stabil dan menghasilkan produk yang berkualitas serta sesuai spesifikasi.

Penelitian akan dilanjutkan dengan analisis analisis kapabilitas proses yang bertujuan untuk mengukur kemampuan proses pupuk NPK dalam menghasilkan produk yang memenuhi spesifikasi yg telah ditetapkan (Montgomery, 2009). Hasil dari analisis kapabilitas ini juga bertujuan untuk mencegah dihasilkan produk cacat atau produk yang keluar spesifikasi yang lebih banyak kedepannya. Hal ini dilakukan dengan mengurangi variabilitas dalam proses manufaktur dan dari analisis tersebut dinyatakan dengan indeks capability proses. Hasil dari penelitian diharapkan dapat menjadi *early warning system* untuk PT PUSRI dalam memonitor dan meningkatkan kualitas pupuk NPK kedepannya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Pupuk NPK merupakan produk terbaru dari PT PUSRI yang sedang berkonsentrasi dalam meningkatkan kuantitas dan kualitas pupuk NPK. Di samping itu, dalam melakukan pengendalian kualitas pupuk NPK, PT PUSRI hanya melakukan pengendalian kualitas

melalui uji lab dengan batas spesifikasi yang telah ada. Maka dari itu akan dilakukan pengendalian kualitas lebih lanjut, yaitu pengendalian kualitas secara statistik menggunakan peta kendali multivariat. Karena ketiga variabel yang diukur memiliki korelasi dan terdeteksi mengalami pergeseran proses yang kecil, maka pengendalian kualitas akan dilakukan dengan menggunakan diagram kontrol multivariat yang lebih sensitif untuk mendeteksi pergeseran proses, yaitu peta kendali Max-MCUSUM. Selain itu, untuk mengukur kemampuan proses dalam memproduksi pupuk NPK dalam memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan, maka selanjutnya akan dilakukan analisis kapabilitas.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, tujuan penelitian ini adalah untuk mendeteksi kestabilan proses produksi pupuk NPK melalui monitoring rata-rata dan variansi pada karakteristik kualitas pupuk NPK secara multivariat dan memperoleh hasil analisis kapabilitas dalam proses produksi pupuk NPK di PT PUSRI Palembang.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi PT PUSRI sebagai saran dan rekomendasi kepada perusahaan berupa *early warning system* dalam melakukan peningkatan kualitas produk pupuk NPK. Pengendalian kualitas proses secara statistik dapat mendeteksi pergeseran proses, yang selanjutnya diharapkan dapat digunakan pula sebagai *continous improvement* pada PT PUSRI.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan didalam penelitian ini yaitu produk yang digunakan dalam penelitian hanya produk pupuk NPK di PT PUSRI yang diproduksi dari tanggal 23 November 2017 hingga tanggal 27 Desember 2017. Dari 7 variabel kualitas yang diukur pada pupuk NPK, yaitu Nitrogen (N), Phospat (P), Kalium (K), Sulfur, ukuran pupuk, kelembapan dan kekerasan pupuk, variabel yang akan digunakan dari pengukuran pada penelitian ini adalah Nitrogen (N), Phospat (P) dan Kalium (K) sebagai 3 variabel utama dari pengukuran kualitas pupuk NPK.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Uji Korelasi

Metode *bartlett test* akan digunakan untuk menguji korelasi antar karakteristik kualitas ini. Uji *Bartlett* merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui apakah matrik korelasi sama dengan matrik identitas, serta untuk mengetahui apakah terdapat hubungan (korelasi) antar variabel. Hipotesis dan statistik uji dari pengujian korelasi yang digunakan adalah sebagai berikut (Morrison, 1990).

$H_0 : \mathbf{\rho} = \mathbf{I}$  (tidak ada korelasi antar karakteristik kualitas)

$H_1 : \mathbf{\rho} \neq \mathbf{I}$  (terdapat korelasi antar karakteristik kualitas)

Statistik uji:

$$\chi^2 = -\left(m-1-\frac{2p+5}{6}\right)\ln|\mathbf{R}|, \quad (2.1)$$

di mana:

$m$  : jumlah observasi ( $i=1,2,\dots,m$ )

$p$  : jumlah karakteristik kualitas ( $j=1,2,\dots,p$ )

$\mathbf{R}$  : matrik korelasi dari masing-masing karakteristik kualitas

$|\mathbf{R}|$  : determinan matrik korelasi

Dari hipotesis dan statistik uji diatas, dapat diketahui bahwa tidak terdapat korelasi antar karakteristik kualitas apabila nilai

$\chi^2 \geq \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$ , atau  $p$ -value yaitu  $P(\chi^2 \geq \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))})$  dimana

$\chi^2 \sim \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$  kurang dari  $\alpha$ .

### 2.2 Uji Distribusi Normal Multivariat

Uji distribusi normal multivariat dilakukan untuk mengetahui data hasil pengamatan mengikuti distribusi normal multivariat. Suatu pengamatan  $x_1, x_2, \dots, x_p$  mengikuti distribusi normal multivariat dengan parameter vektor *mean*  $\mu$  dan matrik varians kovarian  $\Sigma$  jika memiliki fungsi densitas/kepadatan peluang sebagai berikut.

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)' \Sigma^{-1}(x-\mu)}, \quad (2.2)$$

Uji distribusi normal multivariat dilakukan dengan pengujian *Henzi Zinkler* yaitu sebagai berikut (Korkmaz, Goksuluk, & Zararsiz, 2014).

Hipotesis :

$H_0$  :  $x_1, x_2, \dots, x_p$  berdistribusi normal multivariat

$H_1$  :  $x_1, x_2, \dots, x_p$  tidak berdistribusi normal multivariat

Statistik uji :

$$HZ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n e^{-\frac{\beta^2}{2} D_{ij}} - 2(1+\beta^2)^{-\frac{p}{2}} \sum_{i=1}^n e^{-\frac{\beta^2}{2(1+\beta^2)} D_i} + n(1+2\beta^2)^{-\frac{p}{2}}, \quad (2.3)$$

Di mana:

p: jumlah variabel

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{2}} \left( \frac{n(2p+1)}{4} \right)^{\frac{1}{p+4}},$$

$$D_{ij} = (x_i - x_j)' S^{-1} (x_i - x_j),$$

$$D_i = (x_i - \bar{x})' S^{-1} (x_i - \bar{x}) = m_{ij},$$

Berdasarkan persamaan (2.3), diketahui bahwa  $D_i$  adalah jarak Mahalanobis kuadrat dari observasi ke  $i$  terhadap nilai tengah dan  $D_{ij}$  adalah jarak Mahalanobis antara observasi  $i$  ke  $j$ . Jika data berdistribusi normal multivariat, maka statistik uji ( $HZ$ ) berdistribusi log-normal dengan rata-rata dan variansi seperti sebagai berikut.

$$\mu = 1 - \frac{a^{-\frac{p}{2}} \left( 1 + p\beta^{\frac{2}{a}} + (p(p+2)\beta^4) \right)}{2a^2}, \quad (2.4)$$

$$\sigma^2 = 2(1 + 4\beta^2)^{-\frac{p}{2}} + \frac{2a^{-p}(1 + 2p\beta^4)}{2a^2} + \frac{3p(p+2)\beta^8}{4a^4} - 4w_\beta^{-\frac{p}{2}} \left( 1 + \frac{3p\beta^8}{2w_\beta} + \frac{p(p+2)\beta^8}{2w_\beta^2} \right), \quad (2.5)$$

di mana  $a = 1 + 2\beta^2$  dan  $w_\beta = (1 + 2\beta^2)(1 + 3\beta^2)$ . Oleh karena itu, log-normalisasi *mean* dan *varians* dari statistik *HZ* dapat didefinisikan:

$$\log(\mu) = \log\left(\sqrt{\frac{\mu^4}{\sigma^2 + \mu^2}}\right) \text{ dan } \log(\sigma^2) = \log\left(\frac{\sigma^2}{\sigma^2 + \mu^2}\right), \quad (2.6)$$

Dengan menggunakan parameter distribusi log normal, *mean* dan *varians*, dapat diuji signifikansi dari normalitas multivariat. Statistik uji Wald untuk normal multivariat adalah sebagai berikut.

$$z = \frac{\log(HZ) - \log(\mu)}{\log(\sigma)}. \quad (2.7)$$

Jika pada tingkat signifikansi  $\alpha$ ,  $P\text{-value} > \alpha$  maka sampel dapat dikatakan berasal dari populasi yang berdistribusi normal multivariat, dimana  $P\text{-value} = P(Z \sim N(0,1) > z_{\text{hit}})$ .

### 2.3 Peta Kendali

*Statistical Process Control* atau pengendalian kualitas statistika adalah suatu alat yang membantu memonitor atau mengawasi kinerja suatu proses. Tujuan dari pengendalian kualitas statistika adalah untuk menggambarkan variabilitas yang dapat dikendalikan atau tidak dapat dikendalikan. Salah satu alat pengendalian kualitas statistik adalah peta kendali. Peta kendali merupakan metode statistik yang membedakan adanya variasi atau penyimpangan karena sebab umum dan sebab khusus. Menurut Montgomery (2009) peta kendali terdiri dari tiga bagian, yaitu batas kontrol atas, garis tengah, dan batas kontrol bawah.

Peta kendali yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta kendali *Maximum Multivariate Cumulative Sum* atau disebut dengan Max-MCUSUM. Peta kendali Max-MCUSUM adalah peta kendali yang dapat digunakan untuk mendeteksi pergeseran proses baik pada rata-rata maupun variabilitas proses dalam satu peta kendali. Peta

kendali ini memiliki keunggulan dalam mendeteksi pergeseran proses yang kecil. Peta kendali Max-MCUSUM hanya menggunakan batas kontrol atas atau dalam memonitor proses secara multivariat. Karena dalam prosedur multivariat, pemantauan signifikasi dilihat melalui besarnya pergeseran vektor rata-rata dan matriks kovarians dari target yang ditentukan, dengan demikian arah pergeseran tidak memiliki peran yang penting. Peta kendali ini disebut sebagai Max-MCUSUM karena dikembangkan dengan menggunakan nilai maksimal dari jumlah nilai kumulatif yang dihitung (Cheng & Thaga, 2005).

Selama titik pengamatan terletak didalam batas kendali, proses dianggap dalam keadaan terkendali. Sebaliknya jika berada diatas batas kendali, maka proses dikatakan tidak terkendali. Peta kendali dalam pengaplikasiannya, dapat dilakukan dengan menggunakan dua fase. Fase I digunakan untuk mengumpulkan informasi dari data yang diteliti ketika proses berjalan saat keadaan normal. Pada fase ini batas kendali didapatkan dari data yang telah diambil. Data yang keluar dari batas kendali harus dicari penyebabnya dan data tersebut harus dihapus dari pengamatan dan kemudian batas kendali dihitung ulang dengan data yang sudah seluruhnya berada di dalam batas kendali. Pada fase II, dilakukan pengamatan dengan menggunakan hasil perhitungan batas kendali pada fase I di mana data sudah seluruhnya masuk ke dalam batas kendali. Jika data pada fase dua memiliki data yang keluar dari batas kendali hasil perhitungan fase I, maka hal ini menunjukkan bahwa terdapat keragaman yang signifikan pada proses yang mungkin akan mengakibatkan penurunan kualitas atau produk yang cacat. Berikut adalah diagram kendali Max-MCUSUM.

### **2.3.1 *Maximum Multivariate Cumulative Sum (Max-MCUSUM) Untuk Rata-Rata***

Asumsikan bahwa terdapat barisan variabel  $X$  yang independen dan berdistribusi normal multivariate dimana  $\mathbf{X}_i = (X_{i1}, \dots, X_{ip})'$ , adalah sebuah vektor observasi yang berukuran  $p \times 1$ . Vektor  $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}$  pertama memiliki fungsi distribusi  $F_G$ , tetapi untuk  $X_m, X_{m+1}, \dots$ , berikutnya memiliki fungsi distribusi yang berbeda.  $F_B$  menunjukkan pergeseran pada vektor *mean*. Diamsusikan bahwa pergeseran proses produksi yang terjadi pada waktu yang tidak

diketahui  $m$ . Tujuannya adalah untuk mendeteksi pergeseran yang telah terjadi serta waktu pergeseran. Nantinya, akan ditunjukkan bahwa prosedur CUSUM menandakan bahwa pergeseran rata-rata vektor terjadi segera setelah:

$$S_i = \max \left( 0, S_{i-1} + \log \frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)} \right), \quad (2.8)$$

di mana  $f_G$  dan  $f_B$  adalah densitas yang sesuai dengan  $F_G$  dan  $F_B$ , masing-masing dan  $L$  adalah konstanta yang menentukan karakteristik operasi prosedur CUSUM (Healy, 1987).

Seperti yang akan ditunjukkan, dilakukan *rescaling* pada persamaan (2.8) dengan membagi  $\log \frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)}$  dan  $L$  oleh nilai konstan yang sama seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (2.12). Nilai awal peta kendali CUSUM yang ditentukan adalah  $S_0 = 0$ . Pada setiap periode, statistik CUSUM dibandingkan dengan interval keputusan tetap  $L$  dan jika lebih dari  $L$  berarti terjadi pergeseran proses. Setelah pendeteksian pergeseran dan tindakan perbaikan dilakukan, statistik CUSUM di-reset ke nilai awal  $S_0$ .

Diasumsikan bahwa  $\mathbf{X}_i$  berasal dari distribusi normal multivariat, dengan rata-rata baik  $\mu_G$  yaitu ketika proses terkendali, dan rata-rata buruk  $\mu_B$  yaitu ketika proses tidak terkendali dimana  $\mu_B = \mu_G + \delta$  dan dengan matriks kovarians umum yang diketahui  $\Sigma$ . Jika setiap variabel random normal independen  $\mathbf{X}_i$ , dapat dihitung karakteristik kualitas sebanyak  $p$ , sebuah vektor berukuran  $p \times 1$  terbentuk dan sebuah matriks varians kovarians dengan ukuran  $p \times p$  juga terbentuk. Untuk distribusi normal multivariat, peta kendali CUSUM dikembangkan melalui persamaan rasio *likelihood*, yaitu sebagai berikut.

$$\frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)} = \frac{(2\pi)^{-p/2} |\Sigma|^{-1/2} \exp(-0.5(\mathbf{X}_i - \mu_B)' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_i - \mu_B))}{(2\pi)^{-p/2} |\Sigma|^{-1/2} \exp(-0.5(\mathbf{X}_i - \mu_G)' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_i - \mu_G))} \quad (2.9)$$

$$\frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)} = \frac{\exp(-0.5(\mathbf{X}_i - \mu_B)' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_i - \mu_B))}{\exp(-0.5(\mathbf{X}_i - \mu_G)' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_i - \mu_G))} \quad (2.10)$$

Sehingga didapatkan,



$$\log \frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)} = (\mu_B - \mu_G)' \Sigma^{-1} \mathbf{X}_i - 0.5(\mu_B + \mu_G)' \Sigma^{-1} (\mu_B - \mu_G) \quad (2.11)$$

Peta kendali CUSUM untuk proses multivariat dihitung dengan mensubstitusikan persamaan (2.11) menjadi persamaan (2.8). Kemudian, persamaan (2.8) dihilangkan dengan cara membagi kedua sisi dari persamaan dengan suatu konstanta. Diketahui prosedur CUSUM untuk proses multivariat sebagai berikut.

$$S_i = \max(S_{i-1} + a'X_i - k, 0) > h, \quad (2.12)$$

di mana

$$a' = \frac{(\mu_B - \mu_G)' \Sigma^{-1}}{[(\mu_B - \mu_G)' \Sigma^{-1} (\mu_B - \mu_G)]^{1/2}},$$

dan

$$k = 0.5 \frac{(\mu_B - \mu_G)' \Sigma^{-1} (\mu_B - \mu_G)}{[(\mu_B - \mu_G)' \Sigma^{-1} (\mu_B - \mu_G)]^{1/2}}.$$

Sekarang, variabel random  $a'X_i$  memiliki distribusi normal univariat. Parameter *noncentrality* ditentukan sebagai.

$$D = \sqrt{(\mu_B - \mu_G)' \Sigma^{-1} (\mu_B - \mu_G)}. \quad (2.13)$$

dan

$$Z_i = a'(\mathbf{X}_i - \mu_G). \quad (2.14)$$

Peta kendali CUSUM untuk mendeteksi pergeseran pada vektor *mean* proses normal multivariat dapat ditulis sebagai berikut.

$$C_i = \max(0, C_{i-1} + Z_i - 0.5D) > h. \quad (2.15)$$

Fungsi  $Z_i$  memiliki distribusi normal univariat ketika  $X_i$  memiliki rata-rata sama dengan  $\mu_G$ . Jika rata-rata bergeser ke  $\mu_B$  maka  $a'(\mathbf{X}_i - \mu_G)$  memiliki distribusi normal univariat dengan rata-rata  $D$  dan variansi 1.

### 2.3.2 Maximum Multivariate Cumulative Sum (Max-MCUSUM) Untuk Varians.

Seperti rata-rata proses, variansi proses biasanya dirangkum oleh suatu matriks kovarians pada kasus multivariat. Hal ini penting untuk menilai apakah proses terkendali atau tidak. Prosedur dibawah ini

menunjukkan peta kendali yang menunjukkan perubahan pada variabilitas proses dengan mengasumsikan bahwa rata-rata proses tetap konstan selama proses produksi berlangsung. Dengan menggunakan rasio *likelihood* seperti yang diatas dan mengasumsikan bahwa terdapat dua kondisi produksi, yaitu kondisi baik dan kondisi buruk, Heally mengembangkan suatu peta kendali CUSUM untuk proses standar deviasi. Ketika proses dalam keadaan baik, maka berdistribusi normal multivariat dengan rata-rata  $\mu$  dan matriks kovarians  $\Sigma$ . Jika variabilitas proses mengalami pergeseran, rata rata yang digunakan tetap  $\mu$ , namun matriks kovarians bergeser ke  $b\Sigma$  untuk  $b>0$ . Hal ini mengasumsikan ketika terjadi pergeseran, semua varians bergeser secara proporsional dan korelasi antar variabel tetap sama. Pergeseran tipe ini dapat muncul ketika sesuatu terjadi pada proses manufaktur yang mempengaruhi semua variabel pada proses. Rasio *likelihood* yang diberikan adalah sebagai berikut.

$$\frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)} = \frac{(2\pi)^{-p/2} |b\Sigma|^{-1/2} \exp(-0.5(\mathbf{X}_i - \mu)'(b\Sigma^{-1})(\mathbf{X}_i - \mu))}{(2\pi)^{-p/2} |\Sigma|^{-1/2} \exp(-0.5(\mathbf{X}_i - \mu)'\Sigma^{-1}(\mathbf{X}_i - \mu))}. \quad (2.16)$$

Sehingga didapatkan

$$\log \frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)} = -\frac{1}{2} \log b + 0.5(\mathbf{X}_i - \mu)'\Sigma^{-1}(\mathbf{X}_i - \mu)(1 - \frac{1}{b}). \quad (2.17)$$

Peta kendali CUSUM untuk mendeteksi suatu pergeseran pada variabilitas dari suatu proses yang normal multivariat dapat ditulis sebagai berikut.

$$S_i = \max(S_{i-1} + (\mathbf{X}_i - \mu)'\Sigma^{-1}(\mathbf{X}_i - \mu) - v, 0) > h, \quad (2.18)$$

di mana

$$v = \log(b) \left( \frac{b}{b-1} \right) \quad (2.19)$$

Muirhead (1982) telah menunjukkan bahwa  $(\mathbf{X}_i - \mu)'\Sigma^{-1}(\mathbf{X}_i - \mu)$  mengikuti distribusi *chi-square* dengan derajat bebas  $p$ . Jika populasi matriks kovarians tidak diketahui, maka dihitung dengan matriks kovarians  $S$  dari sampel. Maka  $(\mathbf{X}_i - \mu)'\mathbf{S}^{-1}(\mathbf{X}_i - \mu)$  akan mengikuti distribusi F dengan derajat bebas  $p$  dan  $n-p$ . Untuk

mengembangkan suatu peta kendali CUSUM multivariat yang dapat memonitor vektor *mean* dan matriks kovarians, dibuat transformasi sebagai berikut.

$$Y_i = \Phi^{-1} \{ H[(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}); p] \}, \quad (2.20)$$

di mana  $\Phi(z) = P(Z \leq z)$ , dengan  $Z \sim N(0,1)$ , berdistribusi normal standar. Fungsi  $\Phi^{-1}(\cdot)$  adalah invers dari fungsi distribusi kumulatif normal standar dan  $H(w; p) = P(W \leq w | p)$  untuk  $W \sim \chi_p^2$ , distribusi *chi-square* dengan derajat bebas  $p$ . Fungsi  $Z_i$  dan  $Y_i$  pada persamaan (2.14) dan (2.20) adalah independen dan ketika rata-rata proses dan variabilitas proses terkendali maka  $\boldsymbol{\delta} = 0$  dan  $b=1$ , keduanya mengikuti distribusi normal standar univariat dan distribusi tersebut tidak tergantung pada ukuran sampel. Karena  $Z_i$  dan  $Y_i$  memiliki distribusi yang sama, dapat dibuat suatu peta kendali CUSUM yang dapat memonitor secara simultan baik rata-rata proses maupun variabilitas proses dan variabilitas proses menggunakan satu peta kendali. Statistik CUSUM berdasarkan independensi dan distribusi normal variabel  $Z_i$  dan  $Y_i$ , diberikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_i^+ &= \max(0, Z_i - 0.5D + C_{i-1}^+) \\ C_i^- &= \max(0, -0.5D - Z_i + C_{i-1}^-), \end{aligned} \quad (2.21)$$

untuk memonitor rata-rata proses

$$\begin{aligned} S_i^+ &= \max(0, Y_i - k + S_{i-1}^+) \\ S_i^- &= \max(0, -k - Y_i + S_{i-1}^-), \end{aligned} \quad (2.22)$$

untuk memonitor variabilitas proses, dengan  $C_0$  dan  $S_0$  sebagai titik awal. Karena pada prosedur pengendalian kualitas multivariat dilakukan monitoring pada besarnya pergeseran bukan arahnya, statistik CUSUM diatas akan ditransformasi ke statistik berikut ini.

$$\begin{aligned} C_i &= \max(C_i^+, C_i^-) \\ S_i &= \max(S_i^+, S_i^-) \end{aligned}$$

Karena  $Z_i$  dan  $Y_i$  mengikuti distribusi yang sama, statistik untuk peta kendali multivariat dapat dikembangkan dengan menjadi sebagai berikut:

$$M_i = \max(C_i, S_i) \quad (2.23)$$

Karena digunakan maksimum CUSUM untuk mengembangkan peta kendali, maka disebut peta kendali *Maximum Multivariate Cumulative SUM* (Max-MCUSUM). Statistik  $M_i$  akan bernilai besar ketika vektor *mean* proses jauh dari nilai  $\mu_G$  atau ketika variabilitas proses jauh dari nilai  $\Sigma$ . Nilai  $M_i$  yang kecil menunjukkan bahwa proses berada dalam keadaan terkendali secara statistik. Karena  $M_i \geq 0$ , maka hanya digunakan batas kontrol atas atau *upper control limit*.

## 2.4 Penentuan Interval keputusan ( $h$ )

Penentuan Interval keputusan ( $h$ ) atau biasanya dikenal dengan batas kendali atas didapatkan melalui pendekatan dengan kriteria nilai *Average Run Length* atau ARL. *Average Run Length* (ARL) merupakan rata-rata jumlah titik yang harus diplotkan hingga didapatkan titik *out of control* pertama (Montgomery, 2009). Untuk peta kendali Max-MCUSUM, tidak ada cara langsung dalam menghitung ARL, sehingga setiap nilai ARL didapatkan melalui simulasi (Cheng & Thaga, 2005). Dalam penelitian, ARL yang digunakan adalah sebesar 370 dengan menggunakan  $\alpha$  sebesar 0,0027. Simulasi dilakukan dengan algoritma yang digunakan yaitu sebagai berikut.

1. Membangkitkan data sebanyak 10.000 data berdistribusi normal multivariat dengan menggunakan parameter (vektor *mean* & matrik varian-kovarian) yang sesuai dengan data pengamatan pada fase I.
2. Melakukan pengambilan sampel secara random sebanyak 1.000 data dari total 10.000 data.
3. Menghitung statistik  $M_i$  dengan  $i=1,2,...,1000$  menggunakan persamaan (2.23).
4. Menentukan nilai batas kendali atas sesuai keinginan peneliti, dengan mempertimbangkan nilai median  $M_i$  yang telah didapatkan.
5. Menjalankan program simulasi untuk mendapatkan nilai *Average Run Length* (RL).
6. Melakukan pencatatan terhadap jumlah titik yang harus diplotkan hingga muncul titik pertama yang berada di atas batas kendali atas yang telah ditentukan oleh peneliti.

7. Menjalankan program sebanyak 100 kali, kemudian dirata-rata. Karena  $\alpha$  yang digunakan sebesar 0,0027 maka ARL yang diinginkan sebesar 370. Jika ARL yang didapatkan kurang dari 370, simulasi dilakukan kembali dengan batas kembali yang disesuaikan dengan RL yang didapatkan.
8. Simulasi dilakukan sedemikian rupa hingga didapatkan nilai ARL sebesar 370.

## 2.5 Kapabilitas Proses

Pengendalian kualitas statistik hanya dapat memonitoring proses yang sedang berjalan, tetapi tidak dapat menganalisa secara kuantitatif, sehingga digunakan indeks kapabilitas proses untuk mengetahui suatu proses berjalan secara kapabel (nilai  $C_p \geq 1$ ) atau tidak. Indeks kapabilitas adalah ukuran kuantitatif proses untuk melihat kapabilitas dari suatu proses. Analisis kapabilitas proses merupakan analisis yang dilakukan untuk mengukur kemampuan proses pada suatu produk dalam memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Proses dikatakan kapabel apabila dalam keadaan terkendali, memenuhi batas spesifikasi, serta tingkat presisi dan akurasi tinggi. Berdasarkan standar 3-sigma, suatu produk dikatakan mampu apabila memiliki indeks kapabilitas lebih dari 1,33. Jika proses dalam keadaan terkendali maka indeks yang digunakan adalah  $C_p$  dan  $C_{pk}$ , sedangkan untuk proses yang tidak dalam keadaan terkendali maka indeks kemampuan proses yang digunakan adalah  $P_p$  dan  $P_{pk}$  (Montgomery D. C., 2009). Hal ini dikarenakan ketika proses dalam kondisi tidak terkendali, nilai varians tidak dapat ditaksir dari nilai sampel.  $C_p$  dan  $C_{pk}$  mempertimbangkan deviasi rata-rata dalam sub kelompok rasional. Perhitungan standar deviasi dengan menggunakan konstanta ( $\hat{\sigma} = R/d_2$ ), yang hanya memperhatikan faktor *penyebab umum* (Montgomery, 2013). Sedangkan  $P_p$  dan  $P_{pk}$  mengatur penyimpangan berdasarkan data yang diteliti, dengan menghitung perhitungan standard deviasi total, yang mempertimbangkan faktor *penyebab khusus* dan *penyebab umum*. Perhitungan indeks  $C_p$  dan  $C_{pk}$  serta  $P_p$  dan  $P_{pk}$  adalah sebagai berikut.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}. \quad (2.24)$$

Dalam pengaplikasiannya, proses standar deviasi  $\sigma$  hampir selalu tidak diketahui dan harus diestimasi. Untuk mengestimasi  $\sigma$  digunakan standar deviasi sampel  $s$  dengan rumus sebagai berikut.

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}}. \quad (2.25)$$

Untuk spesifikasi satu arah digunakan  $C_{pu}$  dan  $C_{pl}$  dengan rumus sebagai berikut.

$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \quad C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}. \quad (2.26)$$

Indeks  $C_p$  tidak memperhitungkan perbedaan rata-rata proses terhadap rata-rata spesifikasi.  $C_{pk}$  merupakan perbaikan dari  $C_p$ , maka rumusnya adalah sebagai berikut.

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}). \quad (2.27)$$

Jika  $C_p = C_{pk}$ , proses terpusat di rata-rata spesifikasi, dan tidak terpusat bila  $C_p < C_{pk}$ . Serupa dengan perhitungan  $C_p$ , kinerja tingkat Pp mempunyai rumus sebagai berikut.

$$\hat{P}_p = \frac{USL - LSL}{6s}, \quad (2.28)$$

di mana  $s$  adalah standar deviasi dari semua data yaitu

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}. \quad (2.29)$$

Untuk Ppk dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$P_{pk} = \min\left(\frac{USL - \mu}{3\hat{\sigma}}, \frac{\mu - LSL}{3\hat{\sigma}}\right). \quad (2.30)$$

Perhitungan indeks  $P_p$  dan  $P_{pk}$  untuk data multivariat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$MP_{pk} = \sum_{k=1}^p W_k P_{pk}(X_k) \quad (2.31)$$

$$MP_p = \sum_{k=1}^p W_k P_p(X_k) \quad (2.32)$$

$MP_p$  dan  $MP_{pk}$  berturut-turut merupakan bentuk  $P_p$  dan  $P_{pk}$  dalam keadaan multivariat dengan  $W_i$  merupakan pembobot berdasarkan kepentingan dengan  $\sum_{k=1}^p W_k = 1$ . Nilai pembobot  $W_i$  disesuaikan dengan pembobot dari masing-masing karakteristik kualitas yang ditentukan oleh perusahaan, jika tidak ada maka pembobot dianggap sama (Raissi, 2009).

## 2.6 Profil PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI)

PT Pupuk Sriwidjaja yang didirikan pada tanggal 24 Desember 1959 merupakan perusahaan yang bertujuan untuk turut melaksanakan dan menunjang kebijaksanaan dan program pemerintah di bidang ekonomi, dan pembangunan nasional pada umumnya, khususnya di bidang industri pupuk dan industri kimia lainnya, melalui usaha produksi, perdagangan, pemberian jasa, dan usaha lainnya. PT Pupuk Sriwidjaja yang berbentuk Badan Hukum Milik Negara (BUMN) dengan pemegang saham tunggal yaitu Pemerintah RI melalui Departemen Keuangan RI dan Departemen Perindustrian selaku kuasa pemegang saham.

Saat ini PUSRI memiliki beberapa pabrik didalamnya. Pabrik pertama yang didirikan yaitu PUSRI I yang diresmikan pada tanggal 4 November 1960 dengan kapasitas terpasang 180 ton ammonia/hari. Pabrik Pusri II telah direncanakan sejak rancangan pembangunan pabrik Pusri I sebagai perluasan pabrik yang bekerjasama antara Departemen Perindustrian dengan Toyo Monko Jepang. Namun rencana ini gagal dikarenakan pemberontakan G/30/S PKI. Pemerintah kemudian menindaklanjuti usaha ini pada tahun 1968 dengan mengadakan studi kelayakan bersama John Van Der Volk dan Associate (Amerika), akhirnya mendapatkan rekomendasi untuk melakukan perluasan pabrik Pusri II. Pabrik Pusri III dan Pusri IV dibangun untuk mengatasi kebutuhan pupuk 44 dalam negeri yang semakin meningkat. Pabrik Pusri III dibangun pada tanggal 21 Mei 1975, sedangkan Pusri IV dibangun lima bulan kemudian. Tahun 1990 mulai dibangun pabrik Pusri IB dengan kapasitas 570.000 ton

urea/tahun dengan 135 ton amonia/hari sebagai pengganti pabrik Pusri I yang telah dihentikan operasi pupuk ureanya pada tahun 1985 karena usia teknis dan tidak efisien lagi. Produk Pusri terdiri dari produk retail, produk inovasi serta 3 produk utamanya, yaitu Urea, Amonia dan NPK Fusion.

Selain sebagai produsen pupuk nasional, Pusri juga mengemban tugas dalam melaksanakan usaha perdagangan, pemberian jasa dan usaha lain yang berkaitan dengan industri pupuk. Pusri bertanggung jawab dalam melaksanakan distribusi dan pemasaran pupuk bersubsidi kepada petani sebagai bentuk pelaksanaan *Public Service Obligation* (PSO) untuk mendukung program pangan nasional dengan memprioritaskan produksi dan pendistribusian pupuk bagi petani di seluruh wilayah Indonesia. Penjualan pupuk urea non subsidi sebagai pemenuhan kebutuhan pupuk sektor perkebunan, industri maupun ekspor menjadi bagian kegiatan perusahaan yang lainnya diluar tanggung jawab pelaksanaan *Public Service Obligation* (PSO). Sebagai perusahaan yang bertanggung jawab atas kelangsungan industri pupuk nasional, Pusri telah mengalami berbagai perubahan dalam manajemen dan wewenang yang sangat berkaitan dengan kebijakan-kebijakan pemerintah. Saat ini Pusri secara resmi beroperasi dengan nama PT Pupuk Sriwidjaja Palembang dengan tetap menggunakan brand dan merek dagang Pusri.

## **2.7 Proses Produksi Pupuk**

Pupuk NPK merupakan salah satu jenis pupuk majemuk yang kandungan unsur utamanya terdiri dari 3 unsur hara sekaligus. Pupuk NPK di PT PUSRI dibuat dengan cara *fushion blend/ steam granulation*. Bahan baku yang digunakan dalam proses berupa Diamonium Fosfat (DAP), Urea, *Rock Phospate*, KCL, *Clay*, yang kemudian dicampur menjadi satu dan dibentuk menjadi butiran di dalam Granulator. Proses produksi di pabrik pupuk NPK terbagi menjadi 6 unit, yaitu:

### **2. Feeding Unit**

Bahan baku berupa DAP, Urea, KCL, *Rock Phospate* dan *Clay* (sesuai kebutuhan formula NPK yang diproduksi) ditampung dalam



masing-masing *bin* yang dilengkapi dengan level indikator (LI) dan level alarm untuk *low level* (LAL), *high level* (LAH) dan *very high level* (LAHH). Masing-masing bahan baku dari masing-masing *bin* ditumpahkan ke *Raw Material Conveyor* 1N-M-209 menggunakan *weigher* secara kontinyu. Sebelum dimasukkan ke *Raw Material Conveyor* 1N-M-209, DAP, Urea dan KCL dihaluskan terlebih dahulu menggunakan *crusher*. Perbandingan berat masing-masing bahan baku tergantung dari formula yang akan diproduksi dengan melihat daftar formulasi yang dibuat. Pengisian berat/ *rate feeding* dapat dilakukan dengan cara memilih formula yang ada atau menulis satu persatu menggunakan besarnya berat/ *rate feeding*/persentase dari masing-masing bahan baku/ *consumption rate* pada tampilan monitor kolom set.

### 3. *Granulation Unit*

Material dari *Raw Material Conveyor* 1N-M-209 dibawa oleh *Material Bucket Elevator* 1N-M-210 ke *Pug Mill* 1N-M-211. Di dalam *pug mill* ini terjadi proses pencampuran sehingga material tercampur homogen. Material yang telah homogen dari *pug mill* kemudian digranulasi di dalam *Granulator* 1N-M-212. Granulasi adalah proses pembentukan granul, merupakan pembesaran dari partikel-partikel dengan proses aglomerasi. Pada *Granulation Unit* dilakukan proses aglomerasi yaitu setiap proses dimana partikel-partikel yang halus saling menempel membentuk butiran yang lebih besar, dalam hal ini sebagian atau seluruh material-asal masih dapat diidentifikasi dan sebagian lainnya mungkin sudah berubah menjadi senyawa baru melalui reaksi kimia. Proses aglomerasi ini terjadi berulang-ulang, sehingga material yang menempel membentuk butiran sesuai dengan ukuran yang dikehendaki. Proses ini terjadi selama resirkulasi material.

Untuk operasi granulasi dilakukan material-material padat yang halus sebagai inti dari granul dan material-material yang basah atau dibasahkan agar bisa saling menempel. Proses granulasi dipengaruhi oleh banyak faktor yang saling berkaitan, kira-kira 39 faktor. Diantara faktor-faktor tersebut, yang terpenting untuk operasi adalah pengaruh temperatur dan kadar air di granulator. Proses granulasi/pembutiran di granulator 1-N-M212 ini dilakukan dengan bantuan *steam* dan air/ *slurry*. Pemakaian *steam* berkisar 0.5-4 ton/jam sedangkan air

tergantung kondisi operasi, formula dan jenis bahan baku yang digunakan. Hal ini diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan NPK granul yang terbaik.

#### 4. *Drying Unit*

NPK granul dari Granulator 1N-M-212 kemudian dibawa oleh *Product Granulator Conveyor* 1N-M-213 ke *Dryer* 1N-M-214 untuk dikeringkan. Untuk mengeringkan NPK granul di dalam *dryer*, digunakan udara panas dari *Furnance Chamber* 1N-B-201, yaitu dari pembakaran bahan bakar minyak diesel di *Oil Burner* 1N-B-202 atau gas alam di *Gas Burner* 1N-B-203. Gas panas hasil pembakaran di dalam *furnance* diencerkan dengan udara dari *Furnance Fan*. Temperatur udara panas *inlet dryer* diatur tergantung dari formula NPK granul yang akan dikeringkan. Kadar air NPK granul keluar *dryer* maksimal 2%.

#### 5. *Cooling Unit*

NPK granul kering keluar dari *dryer* 1N-M-214 dibawa *Product Dryer Bucket Elevator* 1N-M-215 ke *Cooler* 1N-M-216 untuk didinginkan. Pendinginan dilakukan dengan mengalirkan udara (suhu kamar) ke dalam *cooler* dengan sistem *counter current* menggunakan *Cooler Fan*. NPK granul yang sudah dingin dibawa oleh *Product Cooler Conveyor* 1N-M-217 dan *Product Cooler Bucket Elevator* 1N-M-218 ke *double deck Vibrating Screen* 1N-F-201 untuk diayak.

#### 6. *Finishing Unit*

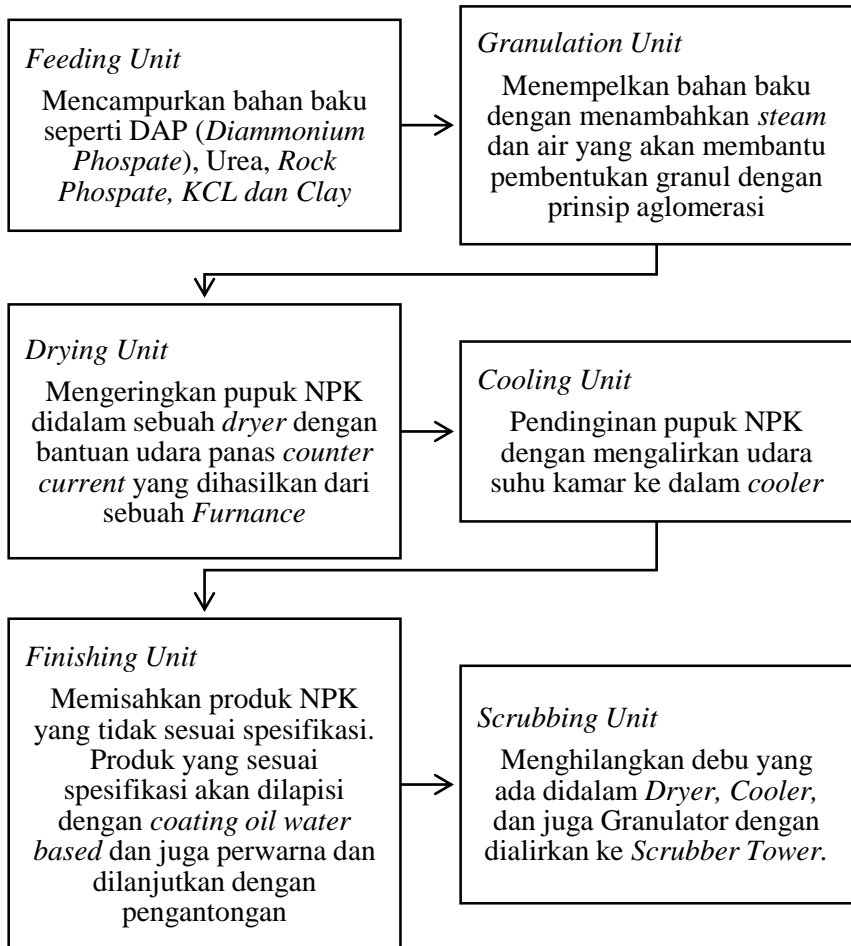
Pada *finishing unit* produk NPK dipisahkan berdasarkan spesifikasi ukuran. Hasil atas (*over size*) masuk ke *Over Size Crusher* 1N-Q-2013 A/B untuk kemudian dihaluskan dan hasilnya masuk ke *Recycle Drag Conveyor* 1N-M-209 untuk digranulasi kembali. Hasil bawah, masih tertahan oleh *deck screen under size* untuk memisahkan antara produk *on size* dan *under size*. Produk *under size* meluncur ke *Recycle Drag Conveyor* 1N-M-209 untuk digranulasi kembali. Produk *on size* masuk ke *Polishing Vibrating Screen* 1N-F-202 untuk dipisahkan butiran kecil yang terikat dalam produk agar kualitas butiran produk menjadi lebih baik. *Product size* masuk ke *Recycle Regulator Bin* 1N-D-219, kemudian dikirim ke dua tempat, yaitu sebagian di kirim

ke *Coater* 1N-M-220 melalui 1N-D-210 dan sebagian kembali ke *Recycle Drag Conveyor* 1N-M-209 untuk membantu proses granulasi dan menjaga kestabilan *recycle* dengan cara mengatur kecepatan *recycle regulator conveyor* 1N-M-219 menggunakan 1N-SC-219.

Selanjutnya, *product size* dilapisi oleh *coating agen* di dalam *coater* 1N-M-220 dengan cara disemprotkan ke NPK granul menggunakan *coating agen sprayer pump* 1N-P-203 A atau B. NPK granul *product size* yang telah dilapisi *coating agen* kemudian dikirim ke *Bagging Unit* menggunakan *Final Product Conveyor* 1N-M-221 dan *Final P Bucket Elevator* 1N-M-222. Jumlah produk NPK granul ditimbang di *Final Product Conveyor* 1N-M-221 menggunakan 1N-WIQ-221.

## 7. *Scrubbing Unit*

Proses pada *scrubbing unit* bertujuan untuk menghilangkan debu yang ada didalam *dryer*, *cooler* dan juga granulator dengan dialirkan ke *scrubber tower*. Untuk *dryer*, dilakukan dari udara panas dari *furnance* 1N-B-201 masuk ke *dryer*, dari *dryer* 1N-M-214 yang telah dipisahkan dari debunya di *dryer cyclone* 1N-D-211 yang dihisap oleh *dryer fan* 1N-C-201 melewati *scrubber pool* 1N-D-212, disini terjadi penyerapan debu halus yng lolos dari *cyclone* oleh air/larutan *scrubbing* selanjut buang yang sudah bersih di buang melalui *stack/scrubber tower* 1N-T-201. Untuk *cooler*, dilakukan udara pendingin dari *cooler* 1N-M-216 dan dari *dedusting system* yang telah dipisahkan dari debu di *cooler cyclone* 1N-D-212 yang dihisap oleh *cooler fan* 1N-C-202 melewati *scrubber pool* 1N-D-213, disini terjadi penyerapan debu halus yang lolos dari *cyclone* oleh air/larutan *scrubbing*, selanjutnya gas buang yang sudah bersih dibuanh melalui *stack* 1N-T-201. Untuk granulator, udara panasnya dari 1N-M-212 yang dihisap oleh *granulator fan* 1N-C-205 dimasukkan ke *scrubber tower* 1N-T-201. Produk NPK dari *final product bucket elevator* 1N-M-212 menuju ke *final product conveyor* 1N-M-301 dan diarahkan langsung masuk *bin product hopper* yang kemudian diuji kualitasnya. Jika belum memenuhi persyaratan spesifikasi kualitas, maka dicurahkan dengan mengarahkan 1N-S-301 ke area curah kemudian produk *off spec* di proses kembali.



**Gambar 2.1** Diagram Alir Proses Pembuatan Pupuk NPK

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Sumber Data**

Sumber data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Departemen Operasi dan Pengantongan, tepatnya pada Laboratorium Pupuk NPK PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) yang diambil pada tanggal 9 Januari 2018 hingga 22 Januari 2018. Data berukuran individu 1, yaitu 4 jam satu kali setiap harinya sesuai dengan pengambilan sampel pengukuran kualitas pupuk NPK yang dilakukan setiap 4 jam satu kali setiap harinya. Prosedur sampling dilakukan dengan mengambil sampel pupuk NPK setiap 1 menit sekali selama 1 jam, hingga terkumpul 1 Kilogram (Kg) pupuk NPK. Variabel yang diukur adalah Nitrogen ( $N_2$ ), Phospat ( $P_2O_5$ ), Kalium ( $K_2O$ ), Sulfur (S), *moisture* ( $H_2O$ ) dan *Size* +4/+10. Semua variabel diukur atas dasar bahan kering, dalam bentuk butiran dengan satuan persen berat (% w/w).

Data yang digunakan adalah data pada Laporan Harian Hasil Uji Lab Parameter Kualitas Pupuk NPK. Dalam penelitian ini periode data yang digunakan adalah produksi pupuk NPK pada tanggal 23 November 2017 hingga 27 Desember 2017. Namun, penggunaan data dibagi menjadi dua fase, data produksi pupuk NPK sebelum terjadi *shutdown* pada mesin dan sesudah terjadi *shutdown* pada mesin. Data produksi pupuk NPK sebelum terjadi *shutdown* pada mesin yaitu pada tanggal 23 November 2017 hingga 6 Desember 2017 digunakan sebagai data untuk fase 1. Sedangkan data setelah dilakukan perbaikan mesin yaitu 11 Desember 2017 hingga 27 Desember 2017 digunakan sebagai data untuk fase 2. *Shutdown* pada mesin di pabrik pupuk NPK disebabkan karena kerusakan M-210 yang tidak dapat berputar, M-215-M214 yang buntu serta perlunya dilakukan *maintenance/cleaning* mesin bulanan pada mesin.

#### **3.2 Variabel Penelitian**

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini merupakan ketiga variabel utama dalam memenuhi syarat mutu dari

pupuk NPK di PT PUSRI, yaitu nitrogen, fosfat dan kalium. Dengan definisi operasional yaitu sebagai berikut.

1. Nitrogen (N) adalah unsur hara makro utama yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang banyak. Sumber N tidak diperoleh dari batuan dan mineral, sumber terbesarnya berupa udara yang sampai ke tanah melalui air hujan, atau udara yang diikat oleh bakteri pengikat nitrogen, seperti *Rhizobium sp.* Nitrogen bermanfaat untuk merangsang pertunasan bibit, menaikkan pembentukan daun dan batang, meningkatkan pembentukan akar, meningkatkan pembentukan karbohidrat, klorofil, protein, umbi dan meningkatkan penyerapan unsur hara lainnya seperti fosfor dan kalium (Novizan, 2002)
2. Fosfat (P) adalah zat hara yang sangat diperlukan dalam tanaman. Zat hara fosfor pada pupuk NPK bermanfaat untuk meningkatkan ketersediaan energi pada proses metabolisme. Unsur hara P juga berpengaruh terhadap pembentukan dan pertumbuhan perakaran, memperkuat tanaman, serta meningkatkan penyerapan unsur hara dan air (Juanda&Cahyono, 2000)
3. Kalium (K) adalah unsur hara makro yang dibutuhkan oleh tanaman dan diserap oleh tanaman dalam bentuk ion  $K^+$ . Sumber utama kalium di dalam tanah berasal dari pelapukan mineral-mineral. Zat hara kalium bermanfaat untuk meningkatkan pembentukan bunga dan klorofil, meningkatkan pembentukan zat gula, meningkatkan kekuatan daun, meningkatkan pembesaran daun dan meningkatkan daya tahan terhadap penyakit. (Juanda&Cahyono, 2000)

Ketiga variabel tersebut merupakan variabel utama dan terpenting dalam komposisi pupuk NPK, dengan proporsi 15% pada masing-masing variabel. Sesuai dengan merk dagang pupuk NPK PT PUSRI, yaitu pupuk NPK 15-15-15. Setiap variabel memiliki satuan dan batas spesifikasi yang telah ditetapkan dengan rincian sebagai berikut

**Tabel 3.1** Variabel Penelitian

Variabel	Nama Variabel	Satuan	Batas Spesifikasi (%)
$x_1$	Total Nitrogen (N)	% w/w	$15 \pm 1.5\%$
$x_2$	Phospat (P) sebagai $P_2O_5$	% w/w	$15 \pm 1.5\%$
$x_3$	Kalium (K) sebagai $K_2O$	% w/w	$15 \pm 1.5\%$

### 3.3 Struktur Data

Struktur data yang digunakan pada penelitian kualitas pupuk NPK di PT PUSRI adalah sebagai berikut.

**Tabel 3.2** Struktur Data

Fase	Observasi ke-	Karakteristik Kualitas (% w/w)		
		$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	1	$x_{(1)1}$	$x_{(1)2}$	$x_{(1)3}$
	2	$x_{(2)1}$	$x_{(2)2}$	$x_{(2)3}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	78	$x_{(78)1}$	$x_{(78)2}$	$x_{(78)3}$
2	79	$x_{(79)1}$	$x_{(79)2}$	$x_{(79)3}$
	80	$x_{(80)1}$	$x_{(80)2}$	$x_{(80)3}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	172	$x_{(172)1}$	$x_{(172)2}$	$x_{(172)3}$

Keterangan :

$x_{(i)k}$  = nilai untuk karakteristik kualitas ke-k pada observasi ke-i,  $i = 1, 2, \dots, t$  dan  $k = 1, 2, 3$

Dimana  $X_1$  merupakan nitrogen (N),  $X_2$  merupakan Phospat (P) dan  $X_3$  merupakan kalium (K). Satuan dari ketiga variabel tersebut adalah persen berat(% w/w).

### 3.4 Langkah Analisis

Langkah analisis yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendeskriptifkan data pada masing-masing variabel dengan statistika deskriptif untuk mengetahui karakteristik setiap variabel kualitas pupuk NPK.
2. Melakukan pengujian dependensi variabel dengan menggunakan uji *Bartlett* pada variabel nitrogen (N), phospat (P) dan kalium (K) untuk mengetahui adanya hubungan antar variabel.

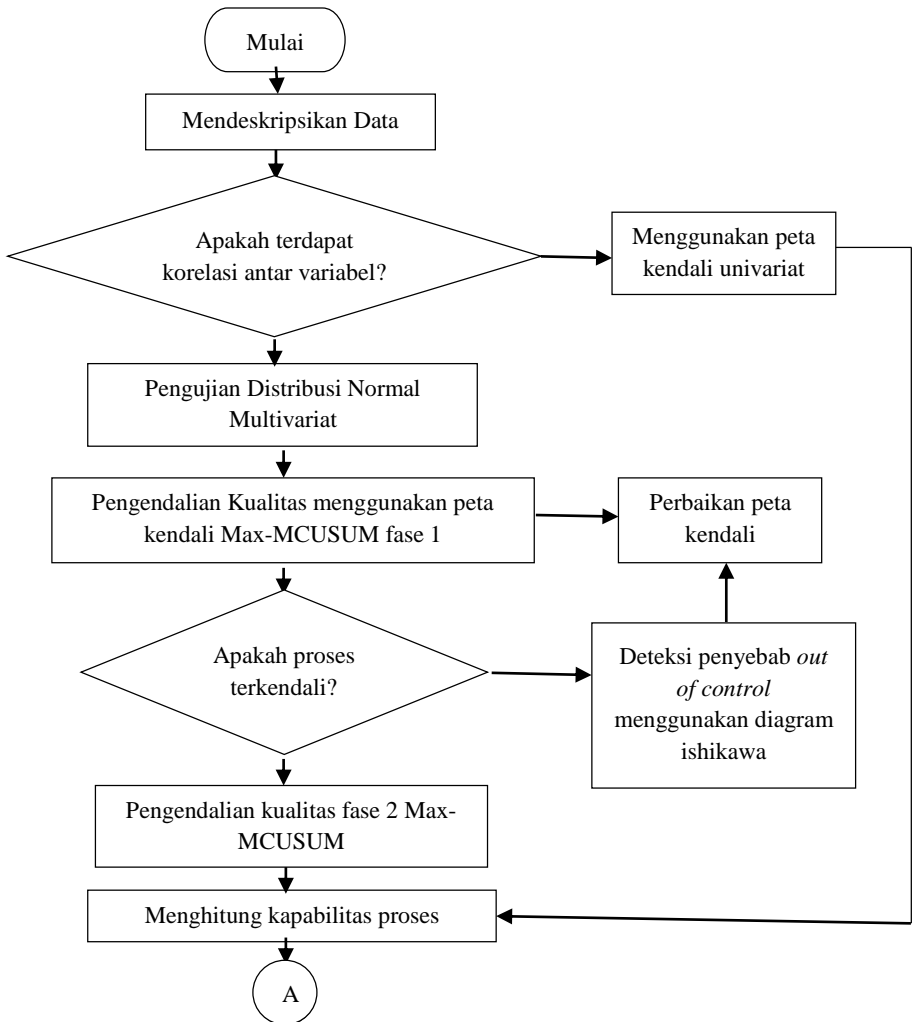


3. Melakukan uji asumsi normal multivariat pada variabel nitrogen (N), phospat (P) dan kalium (K) untuk mengetahui ketiga variabel penelitian mengikuti distribusi normal multivariat atau tidak.
4. Melakukan pengontrolan rata-rata dan variabilitas proses dengan menggunakan peta kendali Max-MCUSUM. Nilai CUSUM berturut-turut yaitu  $M_i$ , diplotkan terhadap titik sampel. Titik pengamatan diplotkan menggunakan simbol berupa titik. Pembuatan peta kendali Max-MCUSUM adalah
  - a. Menentukan paramater berikut :  $p$  dan rata-rata vektor  $\mu_G$ , rata-rata vektor  $\mu_B$ , dan nilai target matriks kovarians  $\Sigma$
  - b. Jika  $\mu_B$  tidak diketahui, maka digunakan vektor  $\bar{X}$  yang dimana adalah suatu rata-rata vektor dari sampel  $p$ -dimensi. Sedangkan jika nilai target matriks kovarians tidak diketahui, maka digunakan sampel matriks kovarians  $S$  untuk menghitung matriks kovarians.
  - c. Untuk setiap sampel hitung  $Z_i$  dan  $Y_i$  dengan persamaan (2.13) dan persamaan (2.20)
  - d. Untuk mendeteksi perubahan pada vektor rata-rata proses dan matriks kovarians, menghitung nilai  $k$  jumlah kumulatif  $C_i^+$ ,  $C_i^-$  seperti persamaan (2.21)  $S_i^+$  dan  $S_i^-$  seperti persamaan (2.22) dan transform ke  $C_i$  dan  $S_i$ .
  - e. Hitung nilai  $M_i$  dan bandingkan dengan  $h$ ; interval keputusan seperti persamaan (2.23)
  - f. Titik pengamatan diplotkan dengan simbol titik dan plotkan terhadap sampel jika  $M_i \leq h$
  - g. Jika nilai  $M_i$  lebih dari interval keputusan;  $h$ , karakter plottingan berikut harus digunakan untuk menunjukkan statistik bahwa peta kendali berada di atas interval
    - i. Jika  $C_i \geq h$ , plotkan  $C_{++}$ . Ini menunjukkan pergeseran proses pada vektor rata-rata
    - ii. Jika  $S_i \geq h$ , plotkan  $V_{++}$ . Ini menunjukkan pergeseran proses pada variansi / matriks kovarians
    - iii. Jika baik  $C_i \geq h$  dan  $S_i \geq h$ , plotkan  $B_{++}$ . Hal ini mengindikasikan suatu pergeseran proses baik pada rata-rata maupun varians

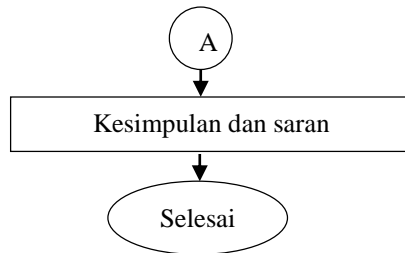
- h. Jika proses tidak terkendali maka dilakukan identifikasi dengan mendeteksi variabel utama penyebab pengamatan *out of control*, kemudian dilanjutkan dengan mengidentifikasi sumber penyebab *out of control* pada proses produksi dengan diagram Ishikawa
- 5. Melakukan analisis kapabilitas proses produksi untuk mengukur kinerja proses produksi pupuk NPK
- 6. Membuat interpretasi dan mengambil kesimpulan.

### **3.5 Diagram Alir**

Langkah analisis diatas, dapat digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Pupuk NPK merupakan produk terbaru dari PT PUSRI yang sedang berkonsentrasi dalam meningkatkan kuantitas dan kualitas pupuk NPK. Dalam melakukan pengendalian kualitas pupuk NPK, PT PUSRI hanya melakukan pengendalian kualitas melalui uji lab dengan batas spesifikasi yang telah ada. Pengendalian kualitas pada produk pupuk NPK di PT PUSRI dilakukan pada 7 variabel setiap harinya. Namun, sesuai nama produknya, terdapat 3 variabel utama dalam menggambarkan kualitas pupuk NPK, yaitu nitrogen (N), fosfat (P) dan kalium (K). Maka dari itu akan dilakukan pengendalian kualitas lebih lanjut, yaitu pengendalian kualitas secara statistik menggunakan peta kendali multivariat. Karena ketiga variabel yang diukur memiliki korelasi dan terdeteksi mengalami pergeseran proses yang kecil, maka pengendalian kualitas akan dilakukan dengan menggunakan diagram kontrol multivariat yang lebih sensitif untuk mendeteksi pergeseran proses, yaitu peta kendali Max-MCUSUM. Monitoring pada ketiga karakteristik kualitas tersebut dilakukan agar terdapat suatu *early warning sytem* pada proses pembuatan pupuk NPK untuk meminimalisir adanya kerugian.

#### **4.1 Karakteristik Kualitas Pupuk NPK**

Pupuk NPK merupakan pupuk yang memiliki 3 unsur hara sekaligus, yaitu nitrogen (N), fosfat (P) dan kalium (K). Pupuk NPK dikatakan baik jika variabel karakteristik kualitasnya berada dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan perusahaan, atau dalam hal ini nitrogen (N), fosfat (P) dan kalium (K) berada dalam spesifikasinya yaitu  $15 \pm 1,5$  %w/w. Untuk mengetahui gambaran umum tentang masing-masing karakteristik kualitas periode 23 November hingga 6 Desember 2017 pada pupuk NPK maka diberikan deskripsi kualitas yang dapat digambarkan melalui Tabel 4.1 sebagai berikut.

**Tabel 4.1** Deskripsi karakteristik kualitas pupuk NPK Fase I

<b>Variabel</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>Varsians</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>
Nitrogen (N)	14,060	1,625	10,860	17,320
Phospat (P)	15,177	4,041	10,010	21,520
Kalium (K)	14,207	2,868	10,510	18,590

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui deskripsi karakteristik kualitas pupuk NPK pada masing-masing variabel untuk data fase I. Secara umum rata-rata kandungan nitrogen (N), fosfat (P) dan kalium (K) pada fase I berada dalam batas spesifikasi perusahaan. Namun, beberapa titik pengamatan pada ketiga variabel masih berada diluar batas spesifikasi yang ditentukan. Hal ini dapat dilihat melalui nilai minimum dan maksimum masing-masing variabel. Nilai minimum pada variabel nitrogen (N) data fase I adalah sebesar 10,860%, variabel Fosfat (P) sebesar 10,010% sedangkan variabel kalium (K) adalah sebesar 10,510%. Ketiga nilai ini, terutama pada variabel fosfat (P), lebih kecil dari batas spesifikasi bawah yang dimiliki oleh perusahaan, yaitu 13,5%. Jika ditinjau dari nilai maksimum masing-masing variabel, dapat diketahui bahwa nilai maksimum variabel nitrogen (N) data fase I adalah sebesar 17,320%, variabel fosfat (P) sebesar 21,520% dan variabel kalium (K) adalah sebesar 18,590%. Ketiga nilai maksimum tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan batas spesifikasi atas yang dimiliki perusahaan, yaitu sebesar 16,5%, terutama variabel fosfat (P) yang mencapai 21,520%. Berdasarkan Tabel 4.1 diatas, juga dapat diketahui bahwa nilai varians terkecil adalah pada variabel nitrogen, yaitu sebesar 1,625%. Nilai ini dapat dikatakan cukup kecil jika dibandingkan dengan varians pada variabel lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa nilai persentase pada nitrogen periode 23 November hingga 7 Desember 2017 cenderung homogen, karena jarak antar data relatif kecil. Selanjutnya, untuk mengetahui gambaran umum tentang masing-masing karakteristik kualitas fase II, yaitu periode 11 Desember hingga 27 Desember 2017 pada pupuk NPK maka diberikan deskripsi kualitas pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

**Tabel 4.2** Deskripsi karakteristik kualitas pupuk NPK Fase II

<b>Variabel</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>Varsians</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>
Nitrogen (N)	14,260	1,095	11,750	17,520
Phospat (P)	15,329	2,446	12,700	19,280
Kalium (K)	15,029	3,306	10,040	18,500

Berdasarkan Tabel 4.2 diatas dapat diketahui deskripsi karakteristik kualitas pupuk NPK pada masing-masing variabel setelah *shutdown* dan dilakukan *maintenance*. Secara umum rata-rata kandungan nitrogen (N), phospat (P) dan kalium (K) pada fase II tetap berada dalam batas spesifikasi perusahaan, terutama variabel phospat (P) dan juga kalium (K) yang memiliki nilai rata-rata sesuai target perusahaan, yaitu 15. Namun, beberapa titik pengamatan pada ketiga variabel, setelah adanya *maintenance* masih berada diluar batas spesifikasi yang ditentukan. Hal ini dapat dilihat melalui nilai minimum dan maksimum masing-masing variabel. Nilai minimum pada variabel nitrogen (N) data fase I adalah sebesar 11,750%, variabel Phospat (P) sebesar 12,700% sedangkan variabel kalium (K) adalah sebesar 10,040%. Ketiga nilai ini lebih kecil dari batas spesifikasi bawah yang dimiliki oleh perusahaan, yaitu 13,5%, terutama pada variabel kalium yaitu sebesar 10,040%. Jika ditinjau dari nilai maksimum masing-masing variabel, dapat diketahui bahwa nilai maksimum variabel nitrogen (N) data fase II adalah sebesar 17,520%, variabel Phospat (P) sebesar 19,280% dan variabel kalium (K) adalah sebesar 18,500%. Sama seperti sebelum terjadi *shutdown*, variabel phospat (P) memiliki nilai paling jauh diatas batas spesifikasi perusahaan. Ketiga nilai maksimum tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan batas spesifikasi atas yang dimiliki perusahaan, yaitu sebesar 16,5%. Berdasarkan Tabel 4.2 diatas, juga dapat diketahui bahwa nilai varsians terkecil masih pada variabel nitrogen, yaitu sebesar 1,095%. Nilai ini dapat dikatakan cukup kecil jika dibandingkan dengan varsians pada variabel lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa setelah dilakukan *maintenance* nilai persentase pada nitrogen (N) periode 11 Desember hingga 27 Desember 2017 masih paling cenderung homogen, karena jarak antar data relatif kecil.

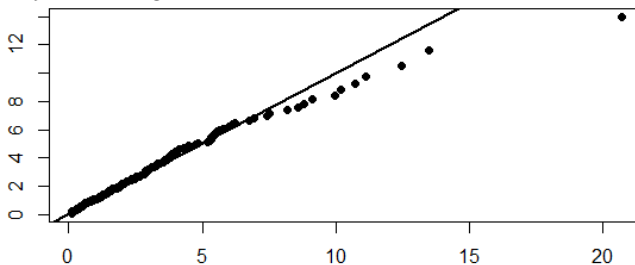


## 4.2 Pemeriksaan Dependensi antar Variabel

Sebelum dilakukan pengendalian kualitas pada pupuk NPK menggunakan peta kendali Max-MCUSUM, variabel karakteristik kualitas pupuk NPK harus memenuhi asumsi dependensi. Variabel karakteristik kualitas pupuk NPK yang digunakan pada penelitian ini adalah variabel nitrogen (N), fosfat (P) dan kalium (K). Untuk memeriksa dependensi antar variabel, maka digunakan uji Bartlett, dengan hasil yaitu didapatkan nilai *Chi-square* sesuai persamaan (2.1) yaitu sebesar 391,939. Nilai ini lebih besar dari nilai *Chi-Square* tabel atau sebesar 7,815. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga variabel karakteristik kualitas pupuk NPK saling dependen. Selain itu, jika ditinjau dari *P-value*. Dapat diketahui bahwa *P-value* yang didapatkan adalah sebesar 0,000. Karena *P-value* kurang dari taraf signifikansi sebesar 5%, maka dapat disimpulkan pula bahwa ketiga variabel karakteristik kualitas pupuk NPK saling dependen. Hal ini memperkuat teori bahwa ketiga variabel karakteristik kualitas dalam penelitian ini saling berhubungan antar satu sama lain.

## 4.3 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

Selain memenuhi asumsi uji dependensi, ketiga variabel karakteristik kualitas juga harus memenuhi asumsi distribusi normal multivariat untuk membuat peta kendali Max-MCUSUM. Sama seperti sebelumnya, uji distribusi normal multivariat dilakukan pada ketiga variabel karakteristik kualitas utama pupuk NPK, yaitu nitrogen (N), fosfat (P) dan kalium (K). Uji distribusi normal multivariat pada karakteristik kualitas pupuk NPK dapat dilihat secara visual melalui QQ-Plot yaitu sebagai berikut.



Gambar 4.1 QQ Plot Uji Normalitas

Berdasarkan Gambar 4.1, dapat terlihat bahwa titik pengamatan mengikuti garis, hal ini mengindikasikan bahwa variabel karakteristik kualitas pupuk NPK mengikuti distribusi normal multivariat. Selain itu, didapatkan  $P$ -value sebesar 0,2138467. Karena  $P$ -value lebih dari  $\alpha$  5%, maka dapat disimpulkan pula bahwa data karakteristik kualitas pupuk NPK mengikuti distribusi normal multivariat, sehingga dapat digunakan pada peta kendali Max-MCUSUM.

#### 4.4 Peta Kendali *Maximum Multivariate Cumulative Sum* (Max-MCUSUM)

Pengendalian kualitas pada rata-rata dan variasi pupuk NPK dilakukan dengan menggunakan peta kendali *maximum multivariate cumulative sum* atau Max-MCUSUM. Pada pengendalian kualitas menggunakan peta kendali MAX-MCUSUM, hanya digunakan batas kontrol atas atau interval keputusan ( $h$ ) dalam memonitoring proses secara multivariat. Karena dalam prosedur multivariat, pemantauan signifikansi dilihat melalui besarnya pergeseran vektor rata-rata dan matriks kovarians dari target yang ditentukan, dengan demikian arah pergeseran tidak memiliki peran yang penting. Peta kendali ini disebut sebagai Max-MCUSUM karena dikembangkan dengan menggunakan nilai maksimal dari jumlah nilai kumulatif yang dihitung (CUSUM).

Selama titik pengamatan terletak dibawah interval keputusan ( $h$ ), proses dianggap dalam keadaan terkendali. Sebaliknya jika berada diatas interval keputusan ( $h$ ), maka proses dikatakan tidak terkendali. Statistik  $M_i$  akan besar ketika vektor *mean* proses jauh dari nilai  $\mu_G$  atau ketika variabilitas proses jauh dari nilai  $\Sigma$ . Nilai  $M_i$  yang kecil menunjukkan bahwa proses berada dalam keadaan terkendali secara statistik. Karena  $M_i \geq 0$ , maka hanya digunakan batas kontrol atas atau  $h$ . Batas kontrol atas atau nilai interval keputusan ( $h$ ) didapatkan dengan melakukan simulasi pada 1000 bangkitan data random yang memiliki nilai rata-rata dan matriks kovarians dari data karakteristik kualitas pupuk NPK pada fase 1. Simulasi dilakukan karena belum terdapat referensi untuk pengendalian kualitas dengan 3 variabel karakteristik kualitas. Penentuan dilakukan dengan cara yaitu sebagai berikut.

#### 4.4.1 Penentuan interval keputusan ( $h$ )

Interval keputusan ( $h$ ) atau biasanya dikenal dengan batas kendali atas didapatkan melalui simulasi dengan nilai ARL atau (*average run length*) sebesar 370 dengan menggunakan  $\alpha$  sebesar 0,0027. Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan algoritma seperti yang telah diuraikan pada bab II, maka didapatkan hasil yaitu sebagai berikut.

**Tabel 4.3** Hasil ARL menggunakan simulasi

<b>Interval Keputusan (<math>h</math>)</b>	<b>Average Run Length (ARL)</b>
35	485,05
30	380,86
<b>29,89</b>	<b>370,28</b>
29,88	367,54
29,85	362,61
29,65	334,16
25,15	282,99

Berdasarkan Tabel 4.3, dapat diketahui bahwa semakin tinggi nilai interval keputusan ( $h$ ) maka nilai ARL cenderung semakin tinggi, begitu juga sebaliknya. Dengan menggunakan interval keputusan ( $h$ ) sebesar 29,89, didapatkan nilai *average run length* atau ARL sebesar 370,28. Sehingga interval keputusan ( $h$ ) yang akan digunakan pada pengendalian kualitas pupuk NPK menggunakan peta kendali Max-MCUSUM adalah sebesar 29,89.

#### 4.4.2 Pengendalian Kualitas Pupuk NPK Fase I

Setelah dilakukan simulasi dan didapatkan nilai interval keputusan ( $h$ ) sebesar 29,89 dengan nilai ARL yang didapatkan yaitu sebesar 370,28, selanjutnya dilakukan pengendalian pada data karakteristik kualitas pupuk NPK fase I. Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data periode 23 November 2017 hingga 6 Desember 2017 yaitu sebanyak 78 data. Agar nilai *mean* dan varians dapat di plotkan terhadap interval keputusan ( $h$ ), sebelumnya dilakukan penentuan parameter. Dalam penelitian ini, diketahui bahwa  $p$  yaitu karakteristik kualitas yang digunakan adalah sebanyak 3 variabel, yaitu nitrogen (N), fosfat (P) dan kalium (K). Kemudian, diketahui pula bahwa  $\mu_G$  adalah nilai target perusahaan, atau dalam penelitian  $\mu_G$  pada

masing-masing variabel adalah 15. Selanjutnya ditentukan  $\mu_B$ , yaitu *mean* atau rata-rata dari data fase I. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan bahwa nilai *mean* pada data fase I adalah sebesar 14,06 untuk variabel nitrogen (N), 15,18 untuk variabel phospat (P) dan 14,21 untuk variabel kalium (K). Parameter lainnya yang harus ditentukan terlebih dahulu adalah *sigma good*. Karena perusahaan tidak memiliki nilai standar *sigma good*, maka nilai *sigma good* didapatkan dari perhitungan matriks *variance covariance* dari data fase I. Selain itu, Nilai awal peta kendali CUSUM yang ditentukan adalah  $S_0 = 0$  dan  $C_0 = 0$ .

Setelah parameter ditentukan, selanjutnya untuk membuat peta kendali Max-MCUSUM, harus dilakukan perhitungan nilai  $Z_i$  dan  $Y_i$ . Nilai  $Z_i$  didapatkan sesuai dengan persamaan (2.14). Untuk mendapatkan nilai  $Z_i$ , sebelumnya harus didapatkan nilai  $a'$ . Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai  $a'$  pada data Fase 1 kualitas pupuk NPK adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 a' &= \frac{(\mu_B - \mu_G)' \Sigma^{-1}}{[(\mu_B - \mu_G)' \Sigma^{-1} (\mu_B - \mu_G)]^{1/2}} \\
 &= \frac{(-0.94 \quad 0.1772 \quad -0.7928) \begin{pmatrix} 0.7913 & -0.0664 & 0.24098 \\ -0.0664 & 0.2959 & 0.11219 \\ 0.241 & 0.11219 & 0.48242 \end{pmatrix}}{\sqrt{(-0.94 \quad 0.1772 \quad -0.7928) \begin{pmatrix} 0.7913 & -0.0664 & 0.24098 \\ -0.0664 & 0.2959 & 0.11219 \\ 0.241 & 0.11219 & 0.48242 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -0.9402 \\ 0.17718 \\ -0.7928 \end{pmatrix}}} \\
 &= \frac{(-0.9468 \quad 0.02586 \quad -0.5892)}{(1.1669824)} \\
 &= (-0.8113 \quad 0.02216 \quad -0.5049)
 \end{aligned}$$

Dengan nilai  $a'$  yang telah didapatkan, maka didapatkan nilai  $Z_i$  sebagai berikut, untuk observasi ke-  $i=1$ .

$$\begin{aligned}
Z_1 &= a'(\mathbf{X}_1 - \boldsymbol{\mu}_G) \\
&= (-0.8113 \quad 0.02216 \quad -0.5049) \begin{pmatrix} -1.07 \\ -1.24 \\ -0.38 \end{pmatrix} \\
&= 1.03247
\end{aligned}$$

Setelah mendapat nilai  $Z_i$ , selanjutnya dilakukan perhitungan pada nilai  $Y_i$  sesuai dengan persamaan (2.20). Maka didapatkan nilai  $Y_i$  sebagai berikut untuk  $i=1$ .

$$\begin{aligned}
Y_1 &= \Phi^{-1} \{ H[(\mathbf{X}_1 - \boldsymbol{\mu})' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_1 - \boldsymbol{\mu}); p] \} \\
&= \Phi^{-1} \left\{ H \left[ \begin{pmatrix} -1.07 \\ -1.24 \\ -0.38 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.7913 & -0.0664 & 0.24098 \\ -0.0664 & 0.2959 & 0.11219 \\ 0.241 & 0.11219 & 0.48242 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1.07 & -1.24 & -0.38 \end{pmatrix}; 3 \right] \right\} \\
&= \Phi^{-1} \{ H[1.556220193; 3] \} \\
&= \Phi^{-1} \{ 0.330643 \} \\
&= -0.43814
\end{aligned}$$

Langkah selanjutnya untuk membuat peta kendali Max-MCUSUM adalah melakukan perhitungan nilai  $k$ . Setelah dilakukan perhitungan untuk nilai  $k$ , dapat diketahui nilai  $k$  untuk data data fase I kualitas pupuk NPK adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
k &= 0.5 \frac{(\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)' \Sigma^{-1} (\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)}{[(\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)' \Sigma^{-1} (\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)]^{1/2}} \\
&= 0.5 \frac{\begin{pmatrix} -0.94 & 0.1772 & -0.7928 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.7913 & -0.0664 & 0.24098 \\ -0.0664 & 0.2959 & 0.11219 \\ 0.241 & 0.11219 & 0.48242 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -0.94 \\ 0.1772 \\ -0.7928 \end{pmatrix}}{\left[ \begin{pmatrix} -0.94 & 0.1772 & -0.7928 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.7913 & -0.0664 & 0.24098 \\ -0.0664 & 0.2959 & 0.11219 \\ 0.241 & 0.11219 & 0.48242 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -0.94 \\ 0.1772 \\ -0.7928 \end{pmatrix} \right]^{1/2}} \\
&= 0.5 \frac{1.361848}{1.1669824} \\
&= 0.58349
\end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah memplotingkan *mean* dan *varians*

terhadap interval keputusan ( $h$ ). Untuk memonitor rata-rata proses, digunakan nilai maksimum dari  $C_i^+$  dan  $C_i^-$  sesuai dengan persamaan (2.21). Dimana nilai  $D$  adalah paramater *noncentrality*. Nilai  $D$  yang didapatkan untuk data fase 1 pupuk NPK adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 D &= \sqrt{(\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\boldsymbol{\mu}_B - \boldsymbol{\mu}_G)} \\
 &= \sqrt{\begin{pmatrix} -0.94 & 0.1772 & -0.7928 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.7913 & -0.0664 & 0.24098 \\ -0.0664 & 0.2959 & 0.11219 \\ 0.241 & 0.11219 & 0.48242 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -0.94 \\ 0.1772 \\ -0.7928 \end{pmatrix}} \\
 &= \sqrt{1.361848} \\
 &= 1.16698
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai parameter *noncentrality* ( $D$ ), maka dapat diketahui  $C_i^+$  dan  $C_i^-$  untuk data observasi  $i=1$  adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 C_1^+ &= \max(0, Z_1 - 0.5D + C_{1-1}^+) \\
 C_1^+ &= \max(0, 1.03247 - 0.5(1.16698) + 0) \\
 C_1^+ &= \max(0, 0.44898) \\
 C_1^+ &= 0.44898
 \end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned}
 C_1^- &= \max(0, -0.5D - Z_1 + C_{1-1}^-) \\
 C_1^- &= \max(0, -0.5(1.16698) - 1.03247 + 0) \\
 C_1^- &= \max(0, -1.61596) \\
 C_1^- &= 0
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dapat diketahui nilai maksimal diantara  $C_1^+$  dan  $C_1^-$  atau  $\max(C_1^+, C_1^-) = 0.44898$ . Maka nilai  $C_i$  adalah sebesar 0.44898. Nilai  $C_i$  seterusnya dapat dilihat melalui lampiran. Sedangkan, untuk memonitor varians proses, digunakan nilai maksimum dari  $S_i^+$  dan  $S_i^-$  sesuai dengan persamaan (2.22). maka

dapat diketahui  $S_i^+$  dan  $S_i^-$  untuk data observasi  $i=1$  adalah sebagai berikut.

$$S_1^+ = \max(0, Y_1 - k + S_{(1-1)}^+)$$

$$S_1^+ = \max(0, -0.43814 - 0.58349 + 0)$$

$$S_1^+ = \max(0, -1.02163)$$

$$S_1^+ = 0$$

dan

$$S_1^- = \max(0, -k - Y_1 + S_{1-1}^-)$$

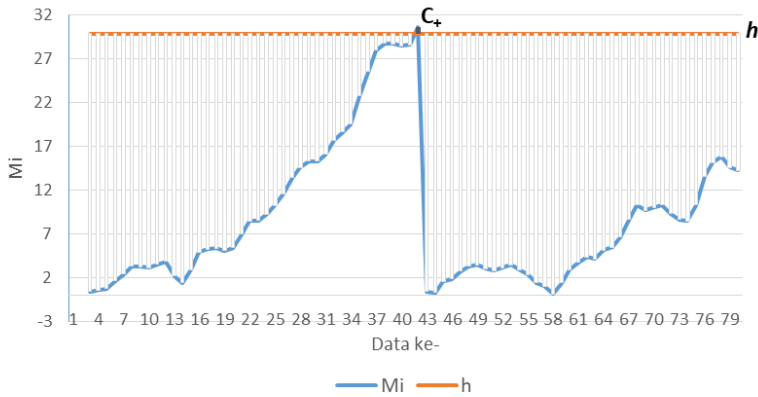
$$S_1^- = \max(0, 0.58349 - 0.43814 + 0)$$

$$S_1^- = \max(0, -0.14535)$$

$$S_1^- = 0$$

Berdasarkan perhitungan diatas, dapat diketahui nilai maksimal diantara  $S_1^+$  dan  $S_1^-$  atau  $\max(S_1^+, S_1^-) = 0$ . Maka nilai  $S_i$  adalah sebesar 0. Nilai  $S_i$  seterusnya dapat dilihat melalui lampiran. Selanjutnya, data diplotingkan dengan mengambil nilai maksimum dari  $C_i$  dan  $S_i$  sesuai dengan persamaan (2.23). Sehingga, dapat diketahui  $M_i$  untuk data observasi  $i=1$  adalah  $\max(C_1, S_1) = 0.44898$ . Nilai  $M_i$  seterusnya dapat dilihat melalui lampiran.

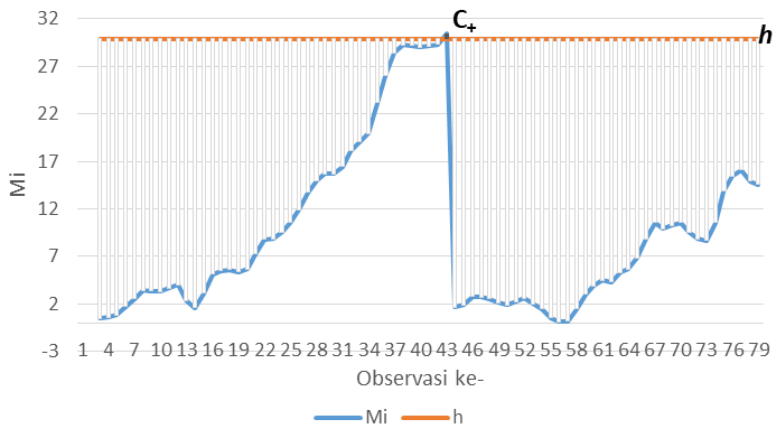
Nilai  $M_i$  yang kecil menunjukkan bahwa proses berada dalam keadaan terkendali secara statistik. Pada setiap periode, statistik CUSUM dibandingkan dengan interval keputusan ( $h$ ) dan jika nilai  $M_i$  lebih dari interval keputusan ( $h$ ) berarti terjadi pergeseran proses. Setelah pendeteksian pergeseran dan tindakan perbaikan dilakukan, statistik CUSUM di-reset ke nilai awal  $S_0$ . Sehingga didapatkan peta kendali Max-MCUSUM pada data fase 1 kualitas pupuk NPK adalah sebagai berikut.



**Gambar 4.2** Peta Kendali Max-MCUSUM Fase I

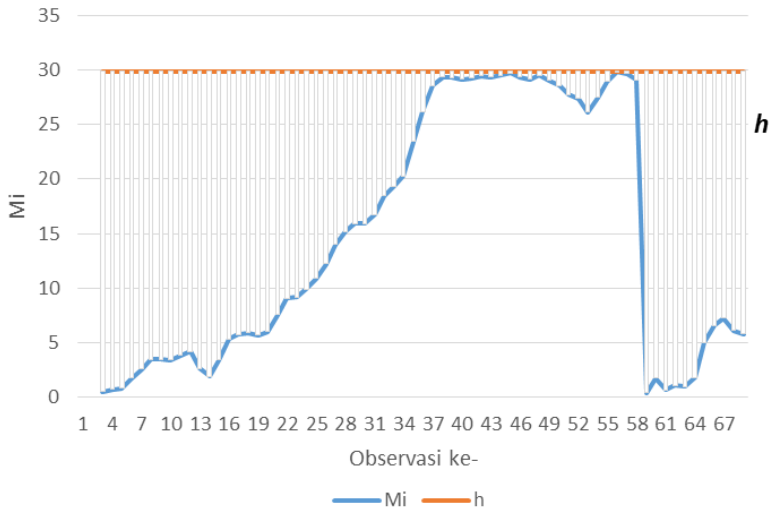
Berdasarkan Gambar 4.2, dapat dilihat pada peta kendali Max-MCUSUM kualitas pupuk NPK fase I dengan interval keputusan ( $h$ ) sebesar 29.89 belum terkendali secara statistik. Hal ini dikarenakan terdapat titik observasi ( $M_i$ ) yang berada di atas interval keputusan ( $h$ ), yaitu titik observasi ( $M_i$ ) ke-40. Titik tersebut merupakan observasi yang dilakukan pada tanggal 29 November pukul 19.00 WIB. Pada titik observasi ( $M_i$ ) ke-40 peta kendali Max-MCUSUM disimbolkan  $C_+$  yang berarti nilai  $C_{40} \geq h$ , yaitu  $30,58062 > 29,89$ . Hal ini menunjukkan adanya pergeseran proses pada vektor rata-rata. Maka dari itu perlu dilakukan tindakan perbaikan dan identifikasi penyebab pengamatan keluar batas kendali kemudian dilakukan penghapusan pada titik observasi ( $M_i$ ) ke-40. Selanjutnya statistik CUSUM di-reset ke nilai awal  $S_0$ . Sehingga didapatkan peta kendali Max-MCUSUM yaitu sebagai berikut.





**Gambar 4.3** Peta Kendali Max-MCUSUM Fase I (1)

Berdasarkan peta kendali Max-MCUSUM diatas, dapat diketahui bahwa pupuk NPK pada fase I masih belum terkendali secara statistik. Hal ini dikarenakan masih terdapat 1 titik observasi ( $M_i$ ) yang berada di atas interval keputusan ( $h$ ), yaitu pada titik observasi ( $M_i$ ) ke-41. Titik tersebut merupakan observasi yang dilakukan pada tanggal 30 November pukul 03.00 WIB. Sama seperti peta kendali Max-MCUSUM sebelumnya, titik observasi ( $M_i$ ) ke-41 peta kendali Max-MCUSUM disimbolkan pula dengan  $C_+$  yang berarti nilai  $C_{41} \geq h$ , yaitu  $30,40327 > 29,89$ , yang menunjukkan adanya pergeseran proses pada vektor rata-rata. Maka dari itu perlu dilakukan tindakan perbaikan dan identifikasi penyebab pengamatan keluar batas kendali kembali. Kemudian dilakukan penghapusan pada titik observasi ( $M_i$ ) ke-41. Selanjutnya statistik CUSUM di-reset ke nilai awal  $S_0$ . Kegiatan ini terus dilakukan hingga didapatkan peta kendali yang terkendali secara statistik atau dalam kata lain tidak memiliki titik observasi ( $M_i$ ) yang berada di atas interval keputusan ( $h$ ). Iterasi pada peta kendali Max-MCUSUM ini dilampirkan dalam lampiran, Sehingga didapatkan peta kendali Max-MCUSUM akhir untuk fase I adalah sebagai berikut.



**Gambar 4.4** Peta Kendali Max-MCUSUM Fase I (*Final*)

Setelah dilakukan perbaikan peta kendali Max-MCUSUM sebanyak 11 kali perbaikan, didapatkan peta kendali Max-MCUSUM seperti Gambar 4.4 diatas. Berdasarkan peta kendali Max-MCUSUM diatas, dapat diketahui bahwa dengan menggunakan batas interval ( $h$ ) 29.89, semua titik observasi berada di dalam batas interval ( $h$ ) atau dibawah batas kendali atas. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak terjadi pergeseran baik pada rata-rata maupun varians proses. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kualitas pupuk NPK fase I menggunakan peta kendali Max-MCUSUM telah terkendali secara statistik. Penelitian selanjutnya dilanjutkan dengan melakukan pengendalian kualitas pupuk NPK fase II.

#### 4.4.3 Pengendalian Kualitas Pupuk NPK Fase II

Pengendalian kualitas pupuk NPK fase II dilakukan untuk memonitoring kestabilan proses produksi pupuk NPK setelah dilakukan *maintenance*. Data yang digunakan untuk pengendalian kualitas menggunakan peta kendali Max-MCUSUM pada fase II merupakan

data kualitas pupuk NPK pada tanggal 11 Desember hingga 27 Desember 2017 yaitu sebanyak 94 data. Pengendalian dilakukan menggunakan batas kendali atau batas interval ( $h$ ) yang didapatkan dari peta kendali Max-MCUSUM fase I. Nilai *mean* dan varians data fase II di plotkan terhadap interval keputusan ( $h$ ) yaitu 29,86, sehingga didapatkan peta kendali Max-MCUSUM fase II sebagai berikut.



**Gambar 4.5** Peta Kendali Max-MCUSUM Fase II

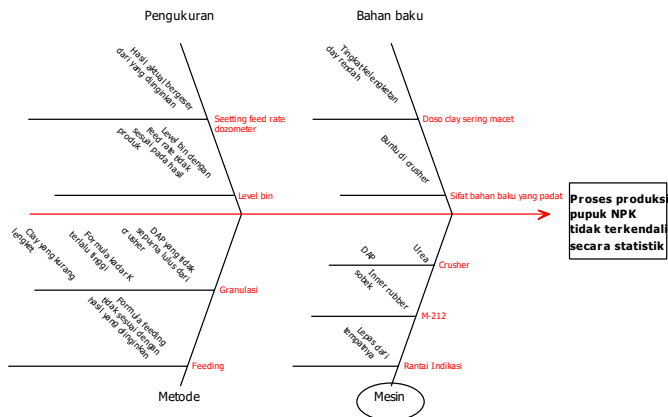
Peta kendali Max-MCUSUM diatas menunjukkan bahwa proses produksi pupuk NPK fase II dengan interval keputusan ( $h$ ) sebesar 29.89 tidak terkendali secara statistik. Hal ini dikarenakan terdapat titik observasi ( $M_i$ ) yang berada di atas interval keputusan ( $h$ ), yaitu titik observasi ( $M_i$ ) ke-76. Titik tersebut merupakan observasi yang dilakukan pada tanggal 24 desember pukul 11.00 WIB. Pada titik observasi ( $M_i$ ) ke-76 peta kendali Max-MCUSUM disimbolkan dengan  $C_+$  yang berarti nilai  $C_{76} \geq h$ , yaitu  $29,91631 > 29,89$ . Hal ini menunjukkan adanya pergeseran proses pada vektor rata-rata. Maka dari itu perlu dilakukan tindakan perbaikan dan identifikasi penyebab pengamatan keluar batas kendali di kemudian hari.

#### 4.5 Identifikasi Penyebab Proses Tidak Terkendali

Pengendalian kualitas pada proses produksi pupuk NPK PT Pupuk Sriwidjaja dilakukan dengan mendeteksi pergeseran baik pada rata-rata maupun variabilitas proses dalam satu peta kendali sekaligus,

yaitu peta kendali Max-MCUSUM. Berdasarkan hasil simulasi dengan  $\alpha = 0,0027\%$  didapatkan batas kontrol atas atau interval keputusan ( $h$ ) sebesar 29.89, yaitu batas dengan nilai ARL yang mencapai 370,28. Hasil analisis menggunakan peta kendali Max-MCUSUM menunjukkan bahwa proses produksi pupuk NPK di PT PUSRI dalam kondisi tidak terkendali secara statistik. Hal ini dikarenakan masih terdapat titik observasi yang berada diluar atau diatas interval keputusan ( $h$ ). Titik observasi yang berada diluar interval keputusan ( $h$ ) pada peta kendali Max-MCUSUM ini disimbolkan dengan  $C_+$  yang berarti nilai  $C_i \geq (h)$ . Hal ini menunjukkan adanya pergeseran pada rata-rata proses produksi pupuk NPK.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka PT Pupuk Sriwidjaja perlu untuk melakukan perbaikan pada proses pupuk NPK, agar tidak terjadi penurunan kualitas. Secara singkat, penyebab terjadinya proses produksi pupuk NPK yang tidak terkendali secara statistik digambar melalui diagram Ishikawa yaitu sebagai berikut.



**Gambar 4.6** Diagram Ishikawa Proses Poduksi Pupuk NPK

Diagram ishikawa diatas dilakukan untuk melakukan perbaikan. Untuk melakukan perbaikan tersebut, sebelumnya perlu dilakukan identifikasi terhadap faktor-faktor yang menyebabkan adanya pengamatan yang berada diluar batas kendali. Faktor-faktor yang

menyebabkan adanya pengamatan yang berada diluar batas kendali tersebut dapat diidentifikasi melalui *brainstorming* dengan pihak perusahaan dan memeriksa *check sheet* pada laporan harian operasi pabrik NPK. Sehingga, dapat diketahui bahwa penyebab utama kondisi yang tidak terkendali secara statistik adalah dari faktor *machine*.

Pada pabrik pupuk NPK, pengaruh kesalahan pengukuran terjadi khususnya pada komponen *feeder* bahan baku (mengatur ukuran *feed* pada dozometer) yang memberikan pengaruh besar terhadap komposisi kandungan pupuk NPK. Karena dozometer merupakan kunci dari input bahan baku yang dimasukkan ke dalam sistem granulasi sesuai pengaturan formula. Pada layar *display PLC* di panel pabrik sudah diterapkan jumlah *feed rate* (ton/jam) dari setiap bahan sesuai pengaturan formula. Namun, terkadang jumlah aktual yang keluar dari dozometer bisa jadi lebih atau kurang dari aturan ukuran yang telah ditetapkan, sehingga komposisi N P dan K tidak sesuai dengan yang seharusnya diinginkan. Untuk meminimalisir dan menjaga kestabilan proses, dapat dilakukan kalibrasi dozometer setiap *day shift*. Selain itu, pengukuran *level bin* dengan *feed rate* juga sering bergeser dari hasil target yang diinginkan. Umumnya, *feed rate* dozometer dan *level bin* idealnya memiliki nilai yang sama. Namun, kombinasi tersebut masih sering menghasilkan produk pupuk yang tidak stabil. Sehingga, untuk mencegah hal tersebut terjadi, *level bin* harus dinaikkan atau diturunkan sesuai dengan komposisi N, P, atau K yang tidak stabil secara manual.

Sedangkan jika ditinjau dari sisi metode yang digunakan, ada kekeliruan pada dua metode yang diduga mempengaruhi kestabilan proses proses produk pupuk NPK. Metode yang pertama yaitu adalah metode *feeding*, yang diduga terjadi kesalahan pada pengaturan formula *feeding* sehingga menghasilkan produk yang tidak sesuai. Metode kedua yaitu adalah metode saat granulasi. Kesalahan pada metodegranulasi diduga karena bahan baku clay yang kurang lengket, formula dengan K yang terlalu tinggi dan produk DAP yang belum sempurna, namun lolos dari *crusher*. Hal-hal tersebut diduga mempengaruhi komposisi dari masing-masing variabel N, P, dan K.

Jika ditinjau melalui faktor bahan baku, yang diduga mempengaruhi ketidakstabilan proses produk pupuk NPK adalah salah

satu bahan baku pupuk NPK, yaitu dosis *clay*. *Clay* adalah bahan yang berfungsi sebagai bahan pengikat (*binder*) dan bahan pengisi (*filler*) pada butiran granulat. *Clay* memegang peranan penting dalam proses granulasi di dalam granulator. Jika *clay* tersebut memiliki tingkat kelengketan yang rendah, maka di dalam proses granulasi bahan baku yang lain tidak akan tergranul dengan baik (lepas), sehingga menyebabkan analisis lab pada komposisi N, P dan K tidak stabil. Hal ini terutama berpengaruh pada bahan baku KCL, atau komposisi K, yang merupakan variabel yang susah untuk digranul. Selain itu, menjaga kontinuitas bahan yang keluar dari dozometer secara stabil sangatlah sulit, hal ini disebabkan karena semua bahan baku dari pupuk NPK yang bersifat powder/padatan, yang juga diduga membuat *crusher* pada mesin sering buntu.

Kemudian, dari segi faktor mesin, diketahui bahwa komponen mesin M-212 dimana *inner rubber* pada mesin sobek pada 3 segmen. Selain itu salah satu komponen mesin yaitu rantai indikasi juga lepas dari tempatnya yang seharusnya. Kedua komponen mesin tersebut merupakan komponen yang berada pada area *granulation loop* (GL) maka, kerusakan kedua komponen tersebut sangat berpengaruh dalam kestabilan proses produksi di pupuk NPK. Selain itu, komponen *crusher* pada mesin juga diduga mempengaruhi ketidakstabilan proses pada penelitian ini. *Crusher* terbagi menjadi *crusher* DAP dan urea. Kedua *crusher* ini berpengaruh terhadap kandungan unsur P dan K pada pupuk NPK. Jika butiran DAP atau urea tidak terpecah dengan cukup halus atau sempurna maka komposisi dapat menyimpang dari yang seharusnya ditargetkan. Oleh karena itu, perlu adanya *maintenance* pada setiap komponen mesin secara berkala dan tidak menunggu ketika kerusakan terjadi. Hal ini perlu dilakukan agar proses produksi dapat berjalan secara maksimal dan produk yang dihasilkan sesuai dengan target yang ditentukan oleh perusahaan. Penelitian kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisis kapabilitas pada proses kualitas pupuk NPK.

#### **4.6 Analisis Kapabilitas Proses Kualitas Pupuk NPK**

Analisis kapabilitas adalah analisis yang digunakan untuk melihat kemampuan perusahaan dalam memenuhi batas spesifikasi yang sudah ditentukan perusahaan tersebut, atau dalam kata lain untuk

mengetahui kebaikan dari kinerja proses secara keseluruhan. Proses produksi pupuk NPK dikatakan kapabel apabila hasil pengukuran kualitas pupuk NPK secara keseluruhan telah berada dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan perusahaan, dengan nilai indeks kapabilitas yang  $> 1$ . Dalam analisis kapabilitas, jika hasil data pengamatan tidak terkendali secara statistik maka indeks kapabilitas dihitung dengan menggunakan  $Pp$  dan  $Ppk$ .

Pada penelitian ini, diketahui bahwa proses produksi pupuk NPK belum terkendali secara statistik, maka dari itu digunakan indeks kapabilitas dengan menghitung nilai  $Pp$  dan  $Ppk$ . Setelah dilakukan analisis, didapatkan nilai  $Pp$  dan  $Ppk$  pada karakteristik kualitas nitrogen (N) adalah 0.48 dan 0.24. Kemudian pada karakteristik kualitas fosfat (P), didapatkan nilai  $Pp$  dan  $Ppk$  sebesar 0.32 dan 0.25. Sedangkan pada karakteristik kualitas kalium (K) nilai  $Pp$  dan  $Ppk$  yang didapatkan adalah sama yaitu sebesar 0.27. Dari hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa secara univariat, baik untuk variabel nitrogen (N), fosfat (P) dan kalium (K) pada fase II memiliki nilai kurang dari 1. Hal ini berarti, ketiga variabel memiliki tingkat akurasi dan presisi yang rendah, sehingga belum dapat dikatakan kapabel.

Kemudian, perhitungan nilai kapabilitas dilanjutkan secara multivariat, yaitu menggunakan indeks kapabilitas  $Mpp$  dan  $Mppk$ . Perhitungan secara multivariat, dapat dilakukan menggunakan persamaan (2.32) dan persamaan (2.31) dengan hasil yaitu sebagai berikut.

$$MPp = (0.3 \times 0.48) + (0.3 \times 0.32) + (0.3 \times 0.27) = 0.321$$

$$MPpk = (0.3 \times 0.24) + (0.3 \times 0.25) + (0.3 \times 0.27) = 0.228$$

Berdasarkan hasil analisis secara multivariat, didapatkan nilai  $Mpp$  dan  $Mppk$  dengan bobot yang didapatkan melalui pembagian 1 dengan jumlah variabel, yaitu 0,3. Nilai  $Mpp$  dan  $Mppk$  pada data fase II kualitas pupuk NPK menunjukkan nilai kurang dari 1, yaitu 0.321 dan 0.228. Hal tersebut berarti secara multivariat, kinerja proses tidak kapabel, karena memiliki presisi dan akurasi yang rendah pada ketiga variabel tersebut.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan analisis dan perhitungan mengenai pengendalian kualitas pupuk NPK menggunakan peta kendali Max-MCUSUM pada Bab IV, maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan batas interval ( $h$ ) sebesar 29,89 proses produksi pupuk NPK fase I telah terkendali secara statistik setelah dilakukan identifikasi terhadap penyebab titik yang keluar batas interval dan dilakukan perbaikan. Sedangkan pada fase II, proses produksi pupuk NPK belum terkendali secara statistik. Hal ini dikarenakan masih terdapat titik pengamatan yang berada di atas batas interval ( $h$ ) yang disimbolkan dengan  $C_+$ . Hal ini menunjukkan adanya pergeseran proses pada vektor rata-rata.

Kemudian, pada perhitungan kapabilitas proses, dapat diketahui bahwa secara multivariat, nilai indeks kapabilitas kinerja proses baik MPp maupun MPpk kurang dari 1, yaitu sebesar yaitu 0,321 dan 0,228. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses produksi pupuk NPK pada PT Pupuk Sriwidjaja belum kapabel karena memiliki tingkat presisi dan akurasi yang rendah

#### **5.2 Saran**

Saran yang diberikan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya adalah sebagai berikut.

1. Pada penelitian selanjutnya, diharapkan dapat melanjutkan penelitian dengan analisis reliabilitas terhadap mesin pada pabrik pupuk NPK, hal ini dilakukan agar dapat mencegah kerusakan terhadap mesin dengan melakukan *maintenance* atau pergantian komponen tepat pada waktunya, sehingga tindakan yang dilakukan tidak perlu menunggu mesin rusak terlebih dahulu. Hal tersebut diharapkan akan mengurangi adanya proses produksiyang kurang stabil.
2. Penerapan diagram kendali Max-MCUSUM diharapkan dapat menjadi pertimbangan untuk perusahaan dalam melakukan pengendalian proses produksi secara statistik selain hanya



berdasarkan statistika deskriptif mengenai kesesuaian produk dengan batas spesifikasi yang telah ada. Hal ini berguna sebagai bentuk *continous improvement* pada pabrik pupuk NPK. Penerapan tersebut diharapkan dapat berguna dalam rangka meningkatkan kualitas produksi pada pabrik pupuk NPK yang diproduksi kedepannya oleh perusahaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alva, J., & Estrada, E. (2009). A Generalization of Shapiro-Wilk's Test for Multivariate Normality. *Journal of Communication in Statistics-Theory and Methods*, Vol 38, Issues 11, 1870-1883.
- Biro Humas dan Informasi Publik. (2017). *Sektor Pertanian Berkontribusi Terhadap Pertumbuhan Ekonomi RI Triwulan II*. Dipetik Februari 20, 2018, dari <http://www.pertanian.go.id>
- Cheng, S. W., & Thaga, K. (2005). Multivariate Max-CUSUM Chart. *Quality Technology & Quantitative Management*, 221-235.
- Embu, W. S. (2017, Desember 17). *Pupuk Indonesia targetkan produksi NPK tembus 6 juta ton hingga 2022*. Dipetik Februari 20, 2018, dari merdeka.com: <https://www.merdeka.com>
- Hamdani, T. (2017). *31,86% Penduduk Kerja Indonesia Ada di Sektor Pertanian*. Dipetik Februari 21 dari <https://economy.okezone.com>
- Healy, J. (1987). A note on multivariate CUSUM procedures. *Technometrics*, 409-412.
- Heizer, J., & Render, B. (2008). *Operations Management*. New Jersey: Pearson Education.
- Huwang, L., Arthur, & Chien-Wei. (2007). Monitoring Multivariate Process Variability for Individual Observations. *Journal of Quality Technology*, 33. pp. 258-278.
- Julianto, P. A. (2017). *Negara Agraris, Mengapa Harga Pangan di Indonesia Rawan Bergejolak?* Dipetik Februari 21, 2018, dari <https://ekonomi.kompas.com/>
- Kementerian Pertanian. (2017). *Statistik Lahan Pertanian*. Dipetik Februari 22, 2018, dari <https://www.pertanian.go.id>
- Korkmaz, S., Goksuluk, D., & Zararsiz, G. (2014). MVN: An R Package for Assessing Multivariate Normality. *The R Journal*, Vol 6/2, 2-3.
- Montgomery. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control*. New Jersey: John Wiley Sons.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition*. New York: John Wiley & Sons, inc.

- Montgomery, D. C. (2009). *Statistical Quality Control, Sixth Edition*. United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Morrison, F. (1990). *Multivariate Statistical Methods*. (Fourth Edition ed.). The Wharton School University of Pennsylvania.
- Muirhead, R. (1982). *Aspect of Multivariate Statistical Theory*. New York: John Wiley and Sons.
- PT PUSRI. (2017). *Press Release. Pusri Laksanakan Penandatanganan Kontrak Proyek Pembangunan Pabrik NPK Fusion II*. Dipetik Februari 20, 2018, dari [www.pusri.com](http://www.pusri.com)
- Putra, I. R. (2017, Agustus 30). *Menengok pentingnya pupuk jadi faktor peningkatan produksi pangan nasional*. Dipetik Februari 18, 2018, dari Merdeka.com: <https://www.merdeka.com>
- Raissi, S. (2009). Multivariate Process Capability Indices on the Presence of priority for Quality Characteristics. *Journal of Industrial Engineering International*, Vol 5, No 19, 27-36.
- Raya, M. P. (2017). *DetikFinance*. Dipetik Februari 20, 2018, dari <https://finance.detik.com>
- Raya, M. P. (2017, Agustus 23). *Kontribusi Pertanian ke Pertumbuhan Ekonomi RI*. Dipetik Februari 21, 2018, dari [detikfinance: https://finance.detik.com](https://finance.detik.com)
- Rosmarkam, A., & Yuwono, N. W. (2002). *Ilmu Kesuburan Tanah*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Stoumbos, Z., & Sullivan, J. H. (2002). Robustness to non-normality of the multivariate EWMA control chart. *Journal of Quality Technology*, 34(3), 260-276.
- Sutanto, R. (2002). *Penerapan Pertanian Organik*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Walpole, R. E. (1995). *Pengantar Statistika Edisi ke-3*. (B. Sumantri, Penerj.) Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Walpole, R. E. (2012). *Probability & Statistics For Engineers & Scientists (Ninth Edition)*. United States of America: Pearson Education, Inc.
- Xie, H. (1999). *Contributions to Qualimetry*. Canada: The University of Manitoba.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Data Karakteristik Kualitas Pupuk NPK

No	Nitrogen	Phospat	Kalium
1	13.93	13.76	14.62
2	14.46	14.18	14.55
3	13.77	18.23	15.5
4	12.81	12.11	15.49
5	12.9	13.85	15.57
6	13.11	14.01	15.11
7	13.91	12.59	15.6
8	14.72	15.14	14.5
9	14.02	12.31	14.52
10	13.57	14.99	15.51
11	14.055	14.12	18.59
12	14.14	11.66	16.61
13	13.74	15.96	12.96
14	13.59	17.23	12.3
15	15.75	15.26	11.92
16	13.9	12.92	15.27
17	13.35	13.1	16.98
18	13.89	14.79	15.02
19	14.11	17.31	12.26
20	13.61	14.55	13.07
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
172	14.88	15.47	14.32

**Lampiran 2** Pemeriksaan Asumsi Normal Multivariat

```
>data=read.csv('D://dataTA.csv', header=T, sep=';')
>head(data)
>a=as.matrix(data)
>head(a)
>library(MVN)
>hzTest(data, qqplot=TRUE)
```

**Henze-Zirkler's Multivariate Normality Test**

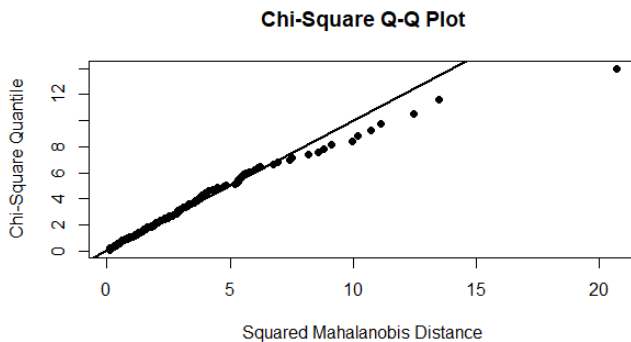
-----

data : data

HZ : 0.8701554

p-value : 0.2138467

Result : Data are multivariate normal.



### Lampiran 3 Pengujian Dependensi antar Variabel

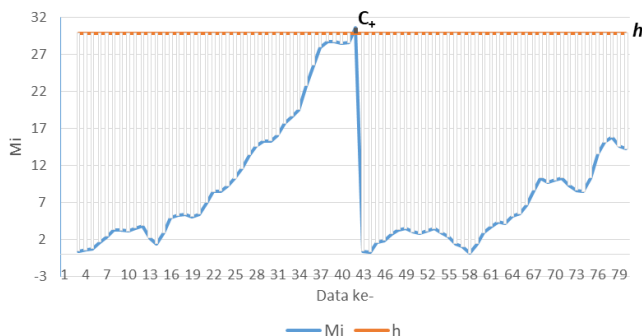
**KMO and Bartlett's Test**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.632
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	52.4
	df	19
	Sig.	.000

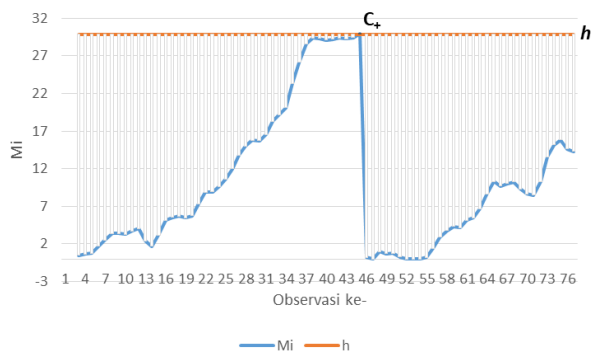
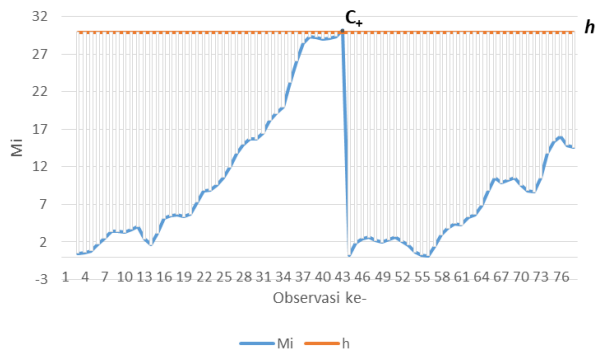
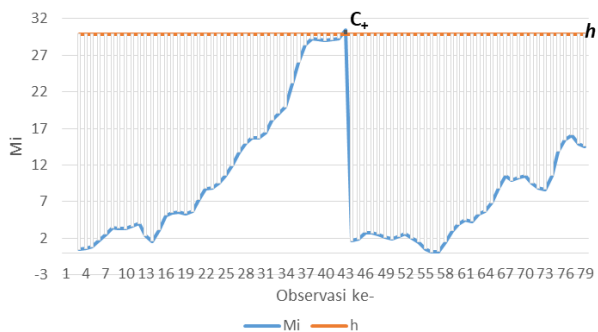
### Lampiran 4 Tabel Nilai $h$

Interval Keputusan ( $h$ )	Average Run Length (ARL)
35	485.05
30	380.86
<b>29.89</b>	<b>370.28</b>
29.88	367.54
29.85	362.61
29.65	334.16
25.15	282.99

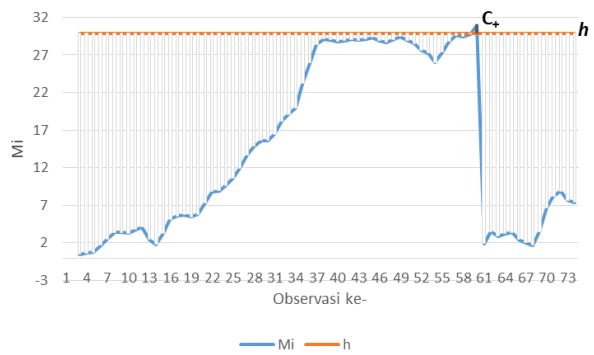
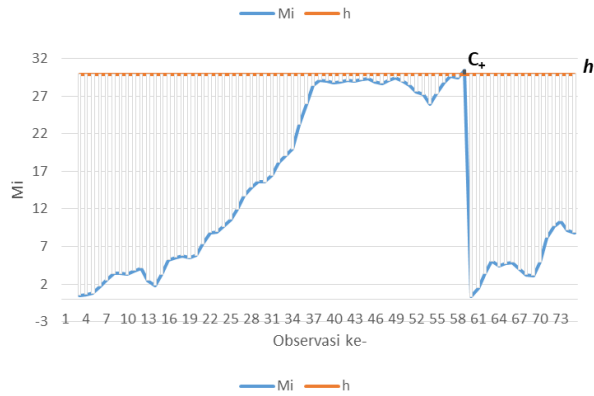
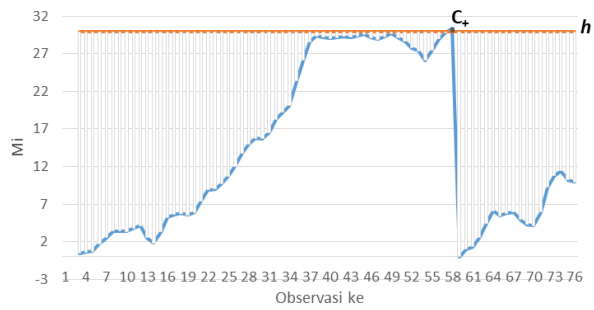
### Lampiran 5 Diagram Kendali Max-MCUSUM Fase 1



### Lampiran 5 Diagram Kendali Max-MCUSUM Fase 1 (lanjutan)

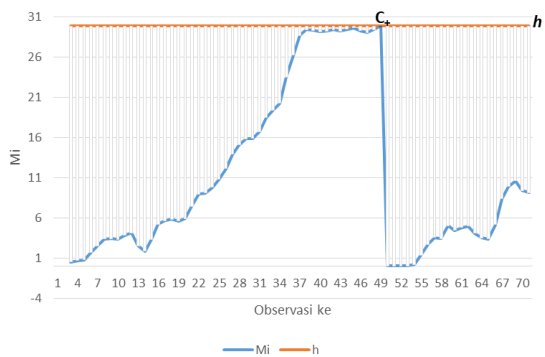
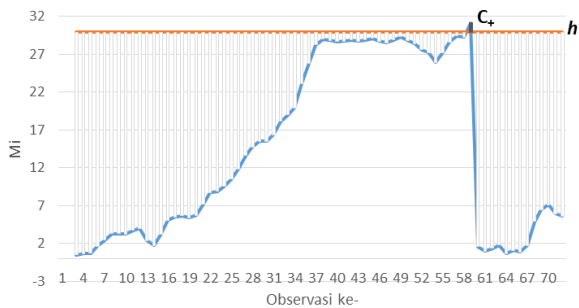
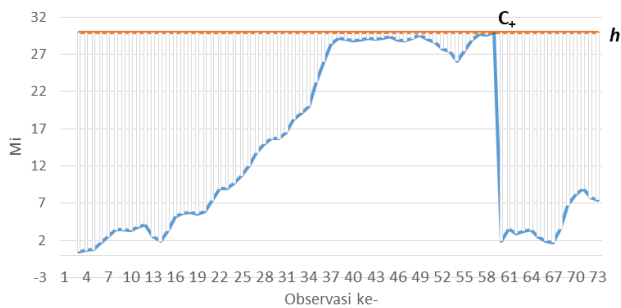


### Lampiran 5 Diagram Kendali Max-MCUSUM Fase 1 (lanjutan)

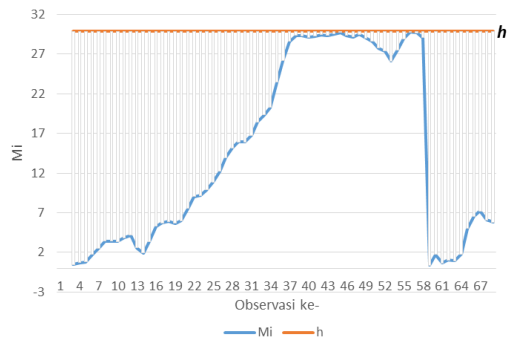
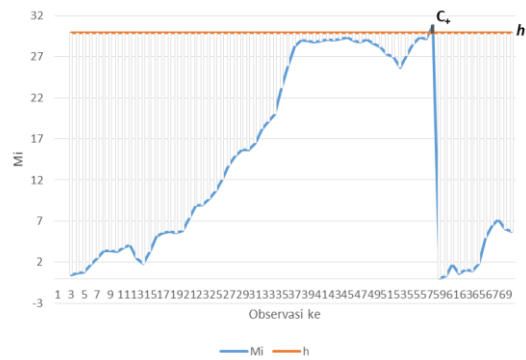




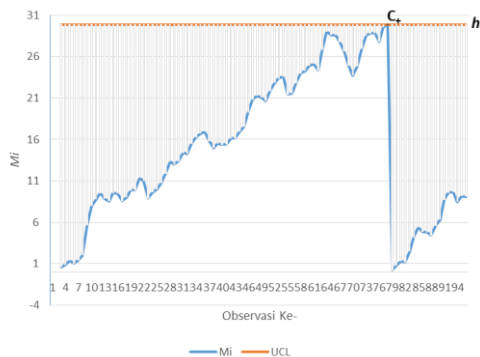
### Lampiran 5 Diagram Kendali Max-MCUSUM Fase 1 (lanjutan)



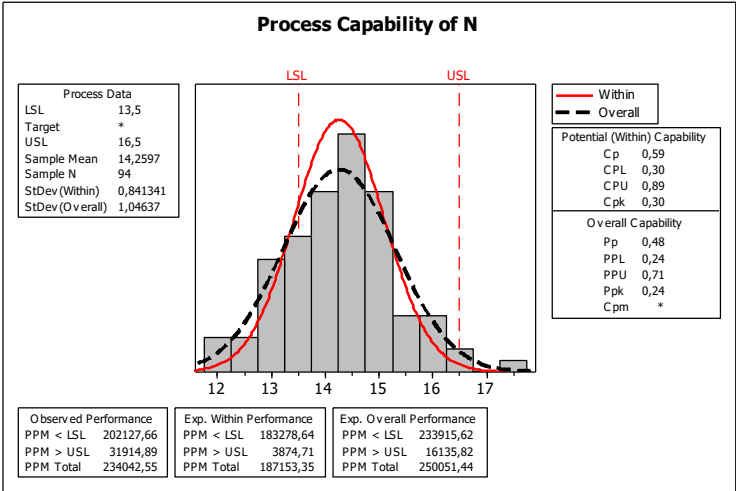
### Lampiran 5 Diagram Kendali Max-MCUSUM Fase 1 (lanjutan)



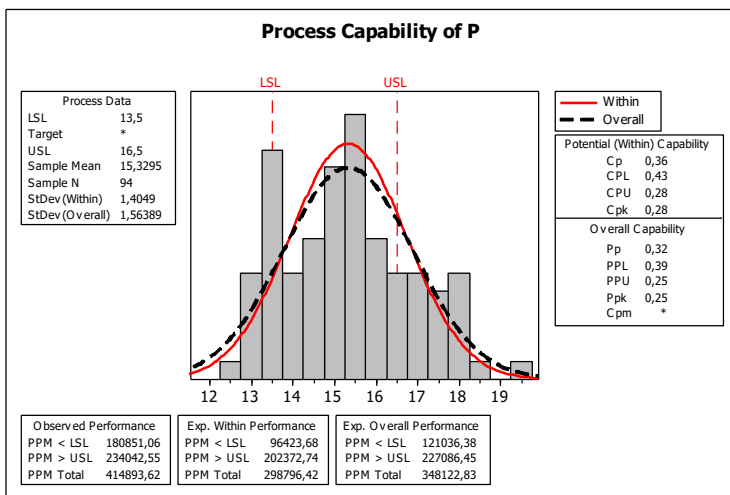
Lampiran 6 Diagram Kendali Max-MCUSUM Fase 2



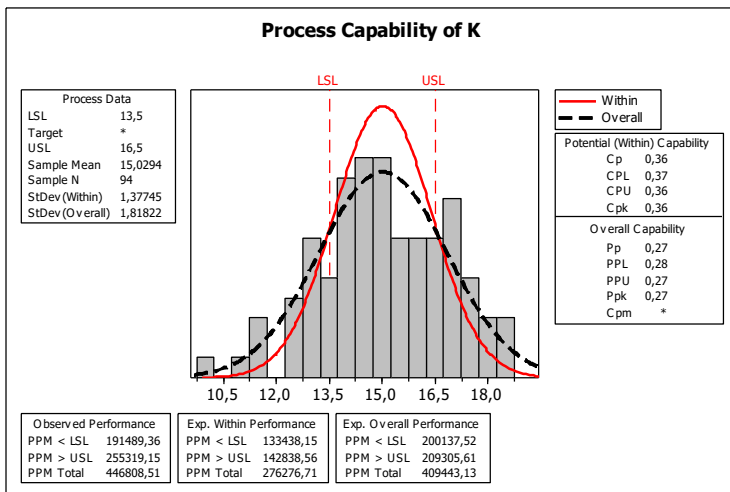
Lampiran 7 Kapabilitas Proses Nitrogen



## Lampiran 8 Kapabilitas Proses Phospat



## Lampiran 9 Kapabilitas Proses Kalium



**Lampiran 10** Contoh Nilai  $C_i$  untuk data fase 1 iterasi 1

Ci+		Ci-		Ci
Ci'+	Ci+	Ci'-	Ci-	
0.44898	0.44898	-1.61596	0	0.44898
0.512612	0.512612	-1.23061	0	0.512612
0.746201	0.746201	-1.40057	0	0.746201
1.628059	1.628059	-2.04884	0	1.628059
2.435075	2.435075	-1.974	0	2.435075
3.307495	3.307495	-2.0394	0	3.307495
3.252009	3.252009	-1.1115	0	3.252009
3.151219	3.151219	-1.06619	0	3.151219
3.545529	3.545529	-1.56129	0	3.545529
3.864521	3.864521	-1.48597	0	3.864521
2.21578	2.21578	0.481759	0.481759	2.21578
1.443172	1.443172	0.087384	0.087384	1.443172
2.933127	2.933127	-2.56955	0	2.933127
4.906135	4.906135	-3.13999	0	4.906135
5.274881	5.274881	-1.53573	0	5.274881
5.401425	5.401425	-1.29353	0	5.401425
5.114876	5.114876	-0.88043	0	5.114876
5.417195	5.417195	-1.4693	0	5.417195
6.990285	6.990285	-2.74007	0	6.990285
8.498926	8.498926	-2.67562	0	8.498926
8.569336	8.569336	-1.23739	0	8.569336
9.251513	9.251513	-1.84916	0	9.251513
10.24961	10.24961	-2.16508	0	10.24961
11.60832	11.60832	-2.52569	0	11.60832
13.4179	13.4179	-2.97656	0	13.4179
14.60859	14.60859	-2.35768	0	14.60859
15.32493	15.32493	-1.88332	0	15.32493
15.30543	15.30543	-1.14748	0	15.30543
16.07328	16.07328	-1.93483	0	16.07328
17.72899	17.72899	-2.8227	0	17.72899
18.62992	18.62992	-2.06791	0	18.62992
19.5298	19.5298	-2.06686	0	19.5298
22.75794	22.75794	-4.39513	0	22.75794
25.55158	25.55158	-3.96062	0	25.55158
27.97249	27.97249	-3.5879	0	27.97249
28.7769	28.7769	-1.97139	0	28.7769

**Lampiran 10** Contoh Nilai  $C_i$  untuk data fase 1 iterasi 1 (lanjutan)

Ci+		Ci-		Ci
Ci'+	Ci+	Ci'-	Ci-	
28.70344	28.70344	-1.09352	0	28.70344
28.49726	28.49726	-0.9608	0	28.49726
28.60686	28.60686	-1.27659	0	28.60686
30.58062	30.58062	-3.14074	0	30.58062
0.172285	0.172285	-1.33927	0	0.172285
0.298829	0.298829	-1.29353	0	0.298829
1.14227	1.14227	-2.01042	0	1.14227
1.043538	1.043538	-1.06825	0	1.043538
2.761084	2.761084	-2.88453	0	2.761084
3.335637	3.335637	-1.74154	0	3.335637
3.471887	3.471887	-1.30323	0	3.471887
3.058796	3.058796	-0.75389	0	3.058796
2.812134	2.812134	-0.92032	0	2.812134
3.134991	3.134991	-1.48984	0	3.134991
3.489604	3.489604	-1.5216	0	3.489604
2.929444	2.929444	-0.60682	0	2.929444
2.383773	2.383773	-0.62131	0	2.383773
1.449782	1.449782	-0.23299	0	1.449782
1.053762	1.053762	-0.77096	0	1.053762
-0.28785	0	0.17463	0.17463	0.17463
1.425371	1.425371	-2.41772	0	1.425371
2.924788	2.924788	-2.6664	0	2.924788
3.787707	3.787707	-2.0299	0	3.787707
4.348783	4.348783	-1.72806	0	4.348783
4.155467	4.155467	-0.97367	0	4.155467
5.169213	5.169213	-2.18073	0	5.169213
5.493312	5.493312	-1.49108	0	5.493312
6.676401	6.676401	-2.35007	0	6.676401
8.630069	8.630069	-3.12065	0	8.630069
10.3057	10.3057	-2.84261	0	10.3057
9.694766	9.694766	-0.55605	0	9.694766
10.03317	10.03317	-1.50539	0	10.03317
10.30216	10.30216	-1.43597	0	10.30216
9.312841	9.312841	-0.17766	0	9.312841
8.630918	8.630918	-0.48506	0	8.630918

**Lampiran 10** Contoh Nilai  $C_i$  untuk data fase 1 iterasi 1 (lanjutan)

Ci+		Ci-		Ci
Ci'+	Ci+	Ci'-	Ci-	
8.464165	8.464165	-1.00023	0	8.464165
10.30738	10.30738	-3.0102	0	10.30738
13.57501	13.57501	-4.43462	0	13.57501
15.13677	15.13677	-2.72874	0	15.13677
15.79511	15.79511	-1.82532	0	15.79511
14.60287	14.60287	0.02526	0.02526	14.60287
14.26402	14.26402	-0.80287	0	14.26402

**Lampiran 11** Contoh nilai  $S_i$  untuk data fase 1 iterasi 1

Si+		Si-		Si
Si'+	Si+	Si'-	Si-	
-1.02163	0	-0.14535	0	0
-1.76136	0	0.594379	0.594379	0.594379
0.363039	0.363039	-0.93564	0	0.363039
0.64095	0.64095	-1.44489	0	0.64095
0.329842	0.329842	-0.85587	0	0.329842
-0.08204	0	-0.7551	0	0
-0.85077	0	-0.31622	0	0
-2.46348	0	1.296497	1.296497	1.296497
-0.238	0	0.367513	0.367513	0.367513
-1.13129	0	0.331822	0.331822	0.331822
0.275361	0.275361	-1.11052	0	0.275361
-0.08123	0	-0.81039	0	0
0.213943	0.213943	-1.38093	0	0.213943
1.197708	1.197708	-2.15075	0	1.197708
1.158832	1.158832	-1.12811	0	1.158832
-0.39986	0	-0.54203	0	0
-1.47773	0	0.310745	0.310745	0.310745
0.597229	0.597229	-1.45347	0	0.597229
0.89981	0.89981	-1.46956	0	0.89981
0.314923	0.314923	-0.5821	0	0.314923
-0.54172	0	-0.31034	0	0
-0.46738	0	-0.6996	0	0
0.042039	0.042039	-1.20902	0	0.042039
-0.54145	0	-0.58349	0	0

**Lampiran 11** Contoh nilai  $S_i$  untuk data fase 1 iterasi 1 (lanjutan)

Si+		Si-		Si
Si'+	Si+	Si'-	Si-	
0.145124	0.145124	-1.31211	0	0.145124
-0.39115	0	-0.63071	0	0
-1.4451	0	0.278115	0.278115	0.278115
0.511644	0.511644	-1.40051	0	0.511644
2.54506	2.54506	-3.2004	0	2.54506
2.177844	2.177844	-0.79977	0	2.177844
1.854182	1.854182	-0.84332	0	1.854182
4.454958	4.454958	-3.76776	0	4.454958
6.547564	6.547564	-3.25959	0	6.547564
8.696909	8.696909	-3.31633	0	8.696909
8.809139	8.809139	-1.27921	0	8.809139
9.461162	9.461162	-1.81901	0	9.461162
7.579423	7.579423	0.714757	0.714757	7.579423
6.817173	6.817173	0.310024	0.310024	6.817173
7.838248	7.838248	-1.87803	0	7.838248
-1.60419	0	0.437209	0.437209	0.437209
-0.28939	0	-0.44038	0	0
1.603983	1.603983	-2.77096	0	1.603983
1.858389	1.858389	-1.42139	0	1.858389
2.714145	2.714145	-2.02274	0	2.714145
2.632946	2.632946	-1.08578	0	2.632946
2.045971	2.045971	-0.58001	0	2.045971
1.274505	1.274505	-0.39552	0	1.274505
-0.86609	0	0.97361	0.97361	0.97361
-0.88869	0	0.695322	0.695322	0.695322
-0.27395	0	-0.19771	0	0
-1.1474	0	-0.01958	0	0
-0.2593	0	-0.90768	0	0
-0.57091	0	-0.59607	0	0
-0.3017	0	-0.86528	0	0
-0.14845	0	-1.01854	0	0
0.624584	0.624584	-1.79157	0	0.624584
2.26685	2.26685	-2.80925	0	2.26685
1.650331	1.650331	-0.55046	0	1.650331



**Lampiran 11** Contoh nilai  $Si$  untuk data fase 1 iterasi 1 (lanjutan)

Si+		Si-		Si
Si'+	Si+	Si'-	Si-	
0.46862	0.46862	0.014729	0.014729	0.46862
-0.3698	0	-0.31383	0	0
0.398792	0.398792	-1.56577	0	0.398792
-0.09701	0	-0.67119	0	0
0.105531	0.105531	-1.27251	0	0.105531
0.933727	0.933727	-1.99518	0	0.933727
1.420087	1.420087	-1.65334	0	1.420087
1.207947	1.207947	-0.95484	0	1.207947
1.064047	1.064047	-1.02308	0	1.064047
2.835394	2.835394	-2.93833	0	2.835394
1.623335	1.623335	0.045076	0.045076	1.623335
2.038168	2.038168	-1.53674	0	2.038168
0.01824	0.01824	0.852946	0.852946	0.852946
0.890876	0.890876	-1.18667	0	0.890876
3.333103	3.333103	-3.60921	0	3.333103
4.241677	4.241677	-2.07556	0	4.241677
3.396016	3.396016	-0.32132	0	3.396016
3.031905	3.031905	-0.80287	0	3.031905
1.599959	1.599959	0.264964	0.264964	1.599959

**Lampiran 12** Contoh nilai  $Mi$  untuk data fase 1 iterasi 1

Mi				
0.44898	6.990285	28.70344	1.053762	13.57501
0.594379	8.498926	28.49726	0.17463	15.13677
0.746201	8.569336	28.60686	1.425371	15.79511
1.628059	9.251513	30.58062	2.924788	14.60287
2.435075	10.24961	0.437209	3.787707	14.26402
3.307495	11.60832	0.298829	4.348783	5.114876
3.252009	13.4179	1.603983	4.155467	5.417195
3.151219	14.60859	1.858389	5.169213	27.97249
3.545529	15.32493	2.761084	5.493312	28.7769
3.864521	15.30543	3.335637	6.676401	2.383773

**Lampiran 12** Contoh nilai  $Mi$  untuk data fase 1 iterasi 1 (lanjutan)

Mi				
2.21578	16.07328	3.471887	8.630069	1.449782
1.443172	17.72899	3.058796	10.3057	8.630918
2.933127	18.62992	2.812134	9.694766	8.464165
4.906135	19.5298	3.134991	10.03317	9.312841
5.274881	22.75794	3.489604	10.30216	
5.401425	25.55158	2.929444	10.30738	

## Lampiran 13 Surat Keterangan Penelitian di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang



### PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG

Palembang, 09 Januari 2018

Nomor : U. 0140 /TB200.DL/2018  
Hal : Pengambilan data / Riset

Yth. Ketua Jurusan Statistika  
Fakultas MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Jl. KH. AHMAD DAHLAN NO 4-6 SUKOLOLO KEPUTIH 60111 SURABAYA  
SURABAYA 60111

Dengan hormat,

Berdasarkan surat dari Ketua Jurusan Statistika Fakultas MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA Institut Teknologi Sepuluh Nopember No. 079807/IT2.VI.9.2/TU.00.09/2017 tanggal 21 Desember 2017 perihal tersebut diatas, dengan ini disampaikan bahwa PT Pupuk Sriwidjaja Palembang cq Departemen Diklat dapat menerima 1 orang Mahasiswa Jurusan Statistika untuk melaksanakan pengambilan data / riset di PT Pupuk Sriwidjaja Palembang tmt 09 Januari 2018 - 23 Januari 2018.

Mahasiswa yang dimaksud adalah :

No	Nama	Nim	Status	Lokasi pengambilan data / riset
1	Siti Aisyah	06211440000059	Diterima	Departemen Operasi & Penganjungan

Persyaratan / ketentuan untuk melaksanakan pengambilan data / riset sbb :

- Mahasiswa yang bersangkutan agar datang melapor ke Departemen Diklat PT Pupuk Sriwidjaja Palembang 1 (satu) hari sebelum pelaksanaan dimulai dengan membawa kartu mahasiswa/pelajar, pas foto 3x4 untuk pembuatan kartu tanda pengenal/badge dan material Rp 3.000,- untuk surat pernyataan.
- Kerja praktik harus dilaksanakan secara terus menerus tanpa terputus sesuai jadwal kegiatan, PT Pupuk Sriwidjaja Palembang tidak memberikan fasilitas transportasi maupun akomodasi serta fasilitas lainnya.
- Selama ybs melaksanakan pengambilan data / riset, harus mematuhi ketentuan/aturan yang berlaku di lingkungan PT Pupuk Sriwidjaja Palembang.
- Khusus mahasiswa/siswa yang melaksanakan kerja praktik di area produksi (pabrik) diwajibkan memakai topi keselamatan kerja dan sepatu keselamatan kerja.

Demikian kami sampaikan, atas kerja sama yang baik kami ucapkan terima kasih.

  
Aped Kumalya, MAppSc  
Manager Diklat

Tembusan :

- PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang (2x)

Kantor Pusat  
Jalan Mayor Zen,  
Palembang 30118 - Indonesia  
Telp. (0711) 712111 / 712222

www.pusri.co.id  
PT Pupuk Sriwidjaja Palembang  
is a subsidiary of  
PT PUPUK INDONESIA (Perseri)

## Lampiran 14 Surat Keterangan Penelitian di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang (Lanjutan)



**PUPUK SRIWIDJAJA  
PALEMBANG**

Palembang, 9 Januari 2018

Nomor : 61 /TB200.DL/2018  
Kepada : Manager Operasi & Pengantongan  
Dari : Departemen Diklat  
Hal : Pengambilan data / riset

Sehubungan dengan persetujuan Manager Operasi & Pengantongan melalui surat No. 013/DB600.DL/2018 tanggal 05 Januari 2018 dapat menerima Mahasiswa Jurusan Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dengan ini kami menugaskan 1 orang Mahasiswa tersebut untuk melaksanakan pengambilan data / riset di Departemen Operasi & Pengantongan PT Pupuk Sriwidjaja Palembang tmt **09 Januari 2018 - 23 Januari 2018**.

Mahasiswa yang dimaksud adalah :

1. Nama / Nim : SITI AISYAH / 06211440000059

Disamping kegiatan utamanya, Mahasiswa yang bersangkutan diwajibkan :

- Mengetahui / mempelajari sejarah & perkembangan PT Pupuk Sriwidjaja Palembang melalui pengarahan staf Departemen Humas dan Departemen K3 & LH,
- Mengisi daftar hadir setiap hari kerja yang dipantau oleh pembimbing serta mematuhi peraturan tata tertib yang berlaku.

Demikian kami sampaikan, atas bantuan dan kerja sama yang baik kami ucapkan terima kasih.

Manager Pendidikan & Pelatihan

**APEP KURNIALY**  
Badge No. 930926

Tembusan :

- Superintendent Adm & Sekuriti
- Perpustakaan
- Pembimbing (ANANG AHMAD #840480)
- Arsip



## Lampiran 15 Surat Keterangan Validasi Data dan Publikasi

### SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa:

1. Mahasiswa Statistika Fakultas Matematika Komputasi dan Sains Data (FMKSD-ITS) dengan identitas berikut:

Nama : Siti Aisyah  
NRP : 0621144000059

Telah mengambil data di instansi/ perusahaan kami :

Nama Instansi : PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) Palembang

Divisi/Bagian : Departemen Operasi dan Pengantongan

Sejak tanggal 09 Januari 2018 sampai dengan 23 Januari 2018 untuk keperluan Tugas Akhir Semester Genap 2017/2018.

2. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~\* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir mahasiswa Statistika yang akan disimpan di Perpustakaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan dibaca di lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
3. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~\* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam *E-Journal* Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya yaitu Jurnal Sains dan Seni Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Palembang, Juni 2018  
Manager Pendidikan dan Pelatihan



Apep Kurnialy, MappSc  
Badge No.930926

\*coret yang tidak perlu

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Siti Aisyah dilahirkan di Kota Palembang pada tanggal 14 Maret 1996 sebagai anak ke tujuh dari tujuh bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN 106 Palembang, SMPN 15 Palembang, dan SMA Plus Negeri 17 Palembang. Kemudian penulis diterima sebagai Mahasiswa departemen Statistika FMKSD ITS Surabaya melalui jalur SNMPTN pada tahun 2014 dengan NRP 1314100059. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di berbagai organisasi yakni sebagai Staf Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) HIMASTA-ITS 15/16, Staf Kementerian Hubungan Luar (HUBLU) BEM ITS 15/16 dan Ketua Departemen Hubungan Luar (HUBLU) HIMASTA-ITS 16/17. Selain aktif di beberapa organisasi, penulis juga pernah berpartisipasi di kepanitiaan diantaranya sebagai Kepala Panitia Divisi *Sponsorship* dalam kegiatan Pekan Raya Statistika 2016 (PRS) tingkat Nasional dan Ketua Panitia pada acara Analisis Sosial (ANSOS) di HIMASTA-ITS tahun 2016. Penulis juga pernah mengikuti beberapa pelatihan diantaranya LKMM-Pra-TD, LKMM TD, Leadership Organization Training 3.0 (LOT 3.0), *Surveyor Training*, *Basic Public Relation Training*, *Public Speaking Training*, *Basic Media Schooling*, Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) *Training*. Apabila pembaca ingin memberi kritik dan saran serta diskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email [sitiaisyaahsa@gmail.com](mailto:sitiaisyaahsa@gmail.com).

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*